

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації експериментальних досліджень
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК __ 621.317.2_____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) Ю.М. Туз
(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(код і назва)

на тему: «Система для визначення динамічних характеристик елементів вимірювальної
техніки» _____

Виконав: студент 2 курсу, групи ВА-81мп
(шифр групи)

Костелецький Дмитро Вячеславович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник професор, д.т.н., Туз Ю. М. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант Аналіз та розробка стартап-проекту _____
(назва розділу)

доцент, доктор економічних наук Бояринова К. О. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Приладобудівний факультет _____
(повна назва)

Кафедра автоматизації експериментальних досліджень
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис) Ю.М. Туз
(ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Костелецькому Дмитру Вячеславовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Система для визначення динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки _____

_____,
науковий керівник дисертації Туз Юліан Михайлович, д.т.н., професор _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «_07»__11__ 2019 р. № 3848-с

2. Термін подання студентом дисертації 10 грудня 2019 _____

3. Об'єкт дослідження Процес визначення динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки _____

4. Предмет дослідження Методи визначення динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Огляд динамічних характеристик.
2. Синтез системи визначення динамічних характеристик перетворювачів.
3. Визначення динамічних характеристик нелінійної системи по перехідній характеристиці. 4. Еквівалентна модель термоперетворювача. 5. Амплітудно-фазо-частотна характеристика термоелектричного перетворювача. 6. Програмне

забезпечення. 7. Експериментальні дослідження, процедури і алгоритми. 8. Визначення параметрів моделі за експериментальними даними перехідної характеристики і АФЧХ. 9. Порівняння коефіцієнтів запропонованої моделі за даними вимірюваних значень перехідної характеристики та АФЧХ. 10. Оцінка невизначеності коефіцієнтів моделі. 11. Аналіз та розробка стартап-проекту. 12. Висновки.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу

Види динамічних характеристик, структурна схема для визначення динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки, графіки АФЧХ _____

7. Орієнтовний перелік публікацій «Система передачі розміру одиниці змінної напруги термоелектричним перетворювачем». Звіт з науково-дослідної роботи ДБ №2040 «Методи підвищення точності відтворення одиниці електричної напруги для створення первинного державного еталона радіочастотного діапазону».

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Бояринова К. О. доцент		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз джерел інформації	02.09.19	
2	Розробка програмного забезпечення на Labview для отримання динамічних характеристик	16.09.19	
3	Експериментальні дослідження, процедури та алгоритми	22.10.19	
4	Визначення параметрів моделі за експериментальними даними перехідної характеристики та АФЧХ	1.11.19	
5.	Оцінка адекватності моделей за перехідною та АФЧ характеристиками	7.11.19	
4	Підготовка та оформлення пояснювальної записки	17.11.19	

Студент _____

(підпис)

Д. В. Костелецький

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____

(підпис)

Ю. М. Туз

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Система для визначення динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки», 96 сторінок, 14 джерел, 1 додаток.

Об'єкт дослідження: Процес визначення динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки.

Предмет дослідження: Визначення динамічних характеристик термоелектричних перетворювачів різних типів.

Мета роботи: Знаходження максимально допустимого підсилення лінеаризованих термоелектричних перетворювачів змінної напруги.

Методи дослідження та апаратура: Експериментальні дослідження амплітудно-фазо-частотної характеристики та перехідної характеристики, використовуючи програмне забезпечення LabView, та NI-PXI. Оскільки в реальному термоперетворювачі невідома можлива кількість сталих часу, то запропоновано визначити їх експериментальним шляхом послідовно збільшуючи кількість аперіодичних ланок збільшуючи одночасно кількість рівнянь в системі.

Результати роботи та їхня новизна: В ході виконання магістерської роботи було визначено, що вакуумні термоелектричні перетворювачі типу ТВБ (термоперетворювач вакуумний безконтактний) мають три постійні часу, найбільша стала часу, приблизно 0,5 сек., невакуумні перетворювачі типу ДТПТ-6 мають найбільшу сталу часу близько 0,05 сек.

Рекомендації щодо використання результатів роботи: Розроблене програмне забезпечення, виконане за допомогою LabView, дозволить визначати динамічні характеристики термоперетворювачів. Виходячи з отриманих експериментальних даних можна знайти необхідний коефіцієнт підсилення для замкнутої ланки лінеаризованого перетворювача.

ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПЕРЕХІДНА ХАРАКТЕРИСТИКА, АМПЛІТУДНО-ФАЗО-ЧАСТОТНА ХАРАКТЕРИСТИКА, LABVIEW

ABSTRACT

Master's thesis: " A system for determining the dynamic characteristics of measuring equipment elements " 96 pages, 14 sources, 1 applications.

The object of study: The process of determining the dynamic characteristics of the measuring equipment.

Subject of research: Determination of dynamic characteristics of thermoelectric converters of different types.

Objective: To find the maximum allowable amplification of linearized alternating voltage of thermoelectric converters.

Methods and apparatus: Experimental studies of amplitude-phase response and transient response using LabView software and NI-PXI. Since in real thermocouples the possible number of time constants is unknown, it is suggested to determine them experimentally by consistently increasing the number of aperiodic units while increasing the number of equations in the system.

The results and their novelty: During the master's work it was determined that vacuum thermoelectric converters type TVB (vacuum converter vacuum contactless) have three constant times, the highest constant time, about 0.5 sec., Non-vacuum converters type DTPT-6 have the highest constant time about 0.05 sec.

Recommendations for the use of work: Developed software developed using LabView will allow you to determine the dynamic characteristics of thermocouples. Based on the experimental data obtained, you can find the necessary gain for a closed link linearized converter.

DYNAMIC CHARACTERISTICS, TRANSIENT RESPONSE, AMPLITUDE-PHASE-FREQUENCY CHARACTERISTICS, LABVIEW

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
1. ОГЛЯД ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	11
1.1. Загальний огляд та класифікація динамічних характеристик	11
1.2. Мета дослідження динамічних характеристик	15
1.3. Синтез системи визначення динамічних характеристик термоперетворювачів	18
1.4. Визначення динамічних характеристик нелінійної системи по перехідній характеристиці	20
1.5. Еквівалентна модель термоперетворювача	23
1.6. Амплітудно-фазо-частотна характеристика термоелектричного перетворювача	24
1.6. Висновок	27
2. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ	28
2.1 Опис апаратного та програмного забезпечення	28
2.1.1. Огляд NI-PXI та модулю NI-PXI 4461	28
2.1.2 HP34420A – нановольтметр.....	29
2.1.3. H4-7 калібратор універсальний	32
2.1.4. Особливості роботи з Labview.....	33
2.2. Огляд розробленого програмного забезпечення	34
2.3. Експериментальні дослідження, процедури та алгоритми	37
2.4. Визначення параметрів моделі за АФЧХ	41
2.5. Висновок	45
3. Розрахунок невизначеності експериментально-отриманих коефіцієнтів та порівняння коефіцієнтів запропонованої моделі за даними вимірюваних значень перехідної характеристики та АФЧХ	46
3.1. Експериментальне визначення порядку моделі за перехідною характеристикою	46
3.2. Експериментальне визначення порядку моделі за амплітудно-фазо-частотною характеристикою	48
3.3. Оцінка невизначеності коефіцієнтів моделі	49

3.4. Розрахунок похибок системи для визначення динамічних характеристик засобів вимірювальної техніки	55
3.5. Висновок	59
4. АНАЛІЗ ТА РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	60
4.1. Опис ідеї вимірювання динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки	60
4.2. Аналіз конкурентоспроможності	63
4.3. Оцінка ринку збуту послуги по встановленню системи для визначення динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки та розробка програмного забезпечення для її функціонування	67
4.4. Розроблення маркетингової програми	69
4.5. Розроблення організаційного плану діяльності підприємства «Автовимір»	72
4.6. Висновок	75
ВИСНОВКИ ДО РОБОТИ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	79
ДОДАТОК А. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ	80

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І
ТЕРМІНІВ

АФЧХ – Амплітудно-фазо-частотна характеристика

ДХ – динамічна характеристика

ПХ – перехідна характеристика

ІХ – імпульсна характеристика

ПЗ – програмне забезпечення

ЗВТ – засіб вимірювальної техніки

NI – National Instruments

PXI – PCI eXtensions for Instrumentation

ВСТУП

Динамічні вимірювання, тобто вимірювання з використанням засобів вимірювання у динамічному режимі є дуже розповсюдженим в техніці та наукових дослідженнях. Ці вимірювання є важливими для вивчення проходження фізичних процесів в досліджуваних об'єктах. Роль динамічних вимірювань є великою, як в галузях науки, пов'язаних з вивченням об'єктів в експериментальних умовах, так і в галузях техніки і виробництва, для яких характерне створення нових технологічних процесів і випробування нових засобів вимірювальної техніки [10].

Динамічними властивостями засобів вимірювання є такі властивості, які визначають перетворення змінних сигналів в його вимірюючому колі, та в кінцевому випадку зв'язок сигналу на виході із зумовлюючим його сигналом, який обумовлений вимірюючою величиною. Тобто, динамічною можна називати властивість засобу вимірювання, яка проявляється в тому, що вплив вхідного сигналу обумовлює відгук засобу вимірювання в наступні моменти часу. Динамічні властивості засобу вимірювання виражаються за допомогою динамічних характеристик.

Визначення динамічних характеристик термоперетворювачів є важливим з точки зору розуміння складних термодинамічних процесів, розширення сфери їх застосування і підвищення точності вимірювання нестационарних температур. Також дані про динамічні характеристики можуть бути використані для моніторингу в реальному часі процесів старіння термопар на місці експлуатації, без необхідності демонтажу [1].

Метою магістерської дисертації є знаходження постійних часу для забезпечення оптимальної принципової схеми на взаємно-зворотних термоперетворювачах. Для цього необхідно знати динамічні характеристики термоперетворювача у ланці зворотного зв'язку.

Об'єктом дослідження є процес визначення динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки, предметом дослідження є визначення динамічних характеристик термоелектричних перетворювачів різних типів.

Наукова новизна одержаних результатів: в якості вхідного сигналу розглядається потужність, яка пропорційна квадрату напруги. Після цього залежність ЕРС запропоновано взяти, як лінійну відносно вхідної потужності. Оскільки ЕРС термоперетворювача відповідно до ефекту Зеебека пропорційна різниці температур гарячого та холодного спаїв, а температура в усталеному режимі пропорційна підведеній потужності, тобто $P = \frac{U^2}{R}$, то в якості вхідного сигналу розглядається квадрат миттєвих значень напруги, який лінійно пов'язаний з ЕРС термоперетворювача.

Публікації: «Система передачі розміру одиниці змінної напруги термоелектричним перетворювачем» Костелецький Д. В., Туз Ю. М.; звіт з науково-дослідної роботи ДБ №2040 «Методи підвищення точності відтворення одиниці електричної напруги для створення первинного державного еталона радіочастотного діапазону»

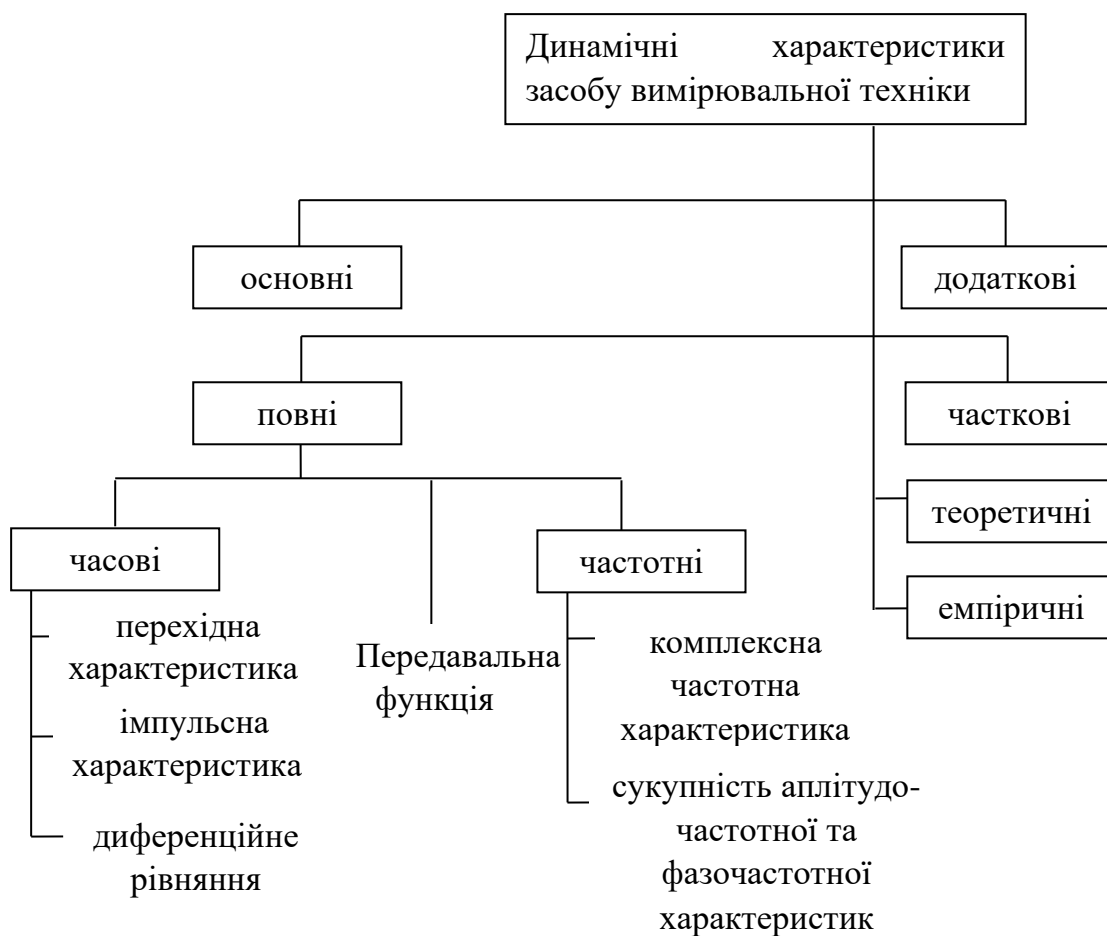
1. ОГЛЯД ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

1.1. Загальний огляд та класифікація динамічних характеристик

Динамічна характеристика – це метрологічна характеристика, яка використовується для вираження динамічних властивостей засобу вимірювальної техніки. При роботі у динамічному режимі засіб вимірювальної техніки представляють у вигляді динамічної системи – взаємопов'язаної сукупності окремих елементів – динамічних ланок. Динамічною ланкою є засіб, для якого існує рівняння, яке пов'язує вхідний та вихідний сигнали [2].

Для класифікації ДХ системи вимірювальної техніки існує декілька властивостей (таблиця 1.1.).

Таблиця 1.1. Класифікація динамічних характеристик



По відношенню до тих чи інших параметрів вхідного сигналу динамічні характеристики бувають *основні* та *додаткові*. Основні визначають зв'язок вихідного сигналу засобу із змінною вимірюючою величиною, додаткові – зміна вихідного сигналу в залежності від зміни впливаючої величини чи неінформативного параметру вхідного сигналу. Загалом, додаткова характеристика представляє собою динамічну функцію впливу даної впливаючої величини [2]

За принципом повноти ДХ можуть бути повними та частковими. Повною ДХ називається ДХ, яка показує зміну інформативного параметру вихідного сигналу засобу при будь-якій зміні в часі інформативного чи не інформативного параметру вхідного сигналу чи впливаючої величини.

ДХ поділяються на часові (перехідна характеристика та імпульсна характеристика, диференціальне рівняння) та частотні (комплексна частотна характеристика та сукупність амплітудно-частотної та фазочастотної характеристик).

Частковою ДХ є характеристика, яка визначається, як параметр чи функціонал повної ДХ ЗВТ. До частих ДХ відносять характеристики, які не відображають загальні динамічні властивості ЗВТ, проте необхідні для виконання вимірювань з потрібною точністю або для контролю однорідності динамічних властивостей ЗВТ.

За способом визначення всі динамічні характеристики поділяються на теоретичні та емпіричні [2].

Як вже було наведено вище, повними динамічними характеристиками є:

- 1). перехідна характеристика;
- 2). імпульсна характеристика;
- 3). АФХ та комплексний коефіцієнт перетворення;
- 4). сукупність амплітудно-частотної та фазочастотної характеристик;
- 5). передавальна функція;
- 6). диференційне рівняння;

Перехідна характеристика ЗВТ, зображена на рисунку 2 – це повна часова характеристика, яка представляє собою відгук ЗВТ на вхідний сигнал у формі одиничної ступінчастої функції, рисунок 1.

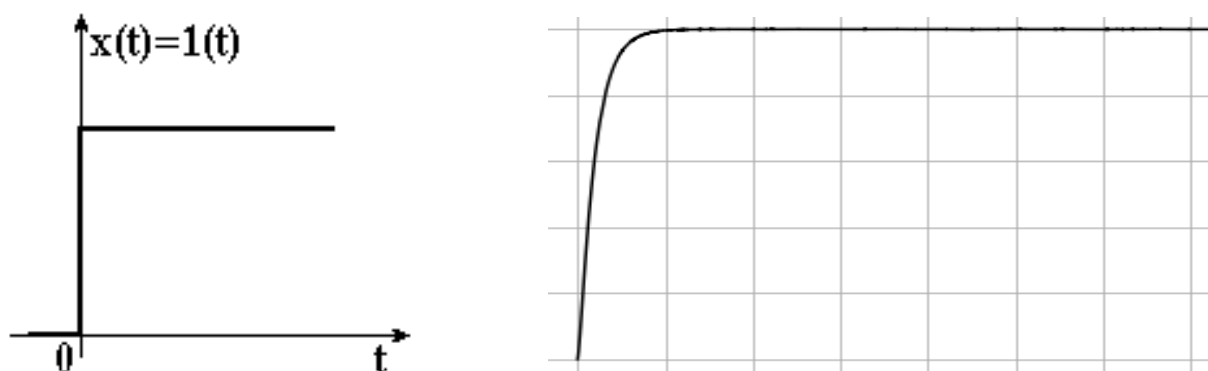


Рис. 1– Одинична ступінчаста функція Рис.2– Приклад перехідної характеристики

Імпульсна характеристика системи вимірювальної техніки – це повна часова характеристика, яка представляє собою відгук вихідного сигналу ЗВТ на вхідний сигнал у формі дельта-функції. Також можна додати, що дельта-функція, рисунок 3, фізично нереалізована, так як неможливо отримати на практиці імпульс безкінечно малої тривалості та безкінечно великої амплітуди. Тому на практиці її замінюють імпульсом обмеженої площини та малою тривалістю [2].

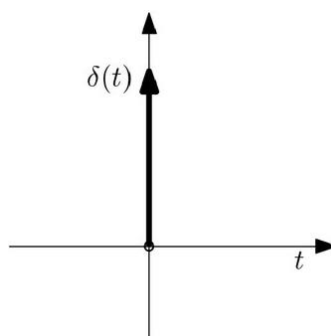


Рисунок 3.– Дельта функція.

Комплексна частотна характеристика $K(j\omega)$ ЗВТ – це характеристика, яка представляє собою залежне від кутової частоти відношення перетворення Фур'є вихідного сигналу до перетворення Фур'є вхідного сигналу при нульових початкових умовах

$$K(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}, \quad (1.1)$$

де ω кутова частота.

При $\omega = 0$ комплексна частотна характеристика дорівнює статичному коефіцієнту передачі.

$$K = \frac{Y(0)}{X(0)}, \quad (1.2)$$

Статичний коефіцієнт перетворення K є відношенням встановлених ненульових значень вихідного та відповідних йому значень вхідного сигналу системи вимірювальної техніки.

Амплітудно-фазова частотна характеристика – це комплексна частотна характеристика, визначена, як годограф вектора $\vec{W}(j\omega)$, побудований на комплексній площині при зміні частоти від 0 до ∞ [2].

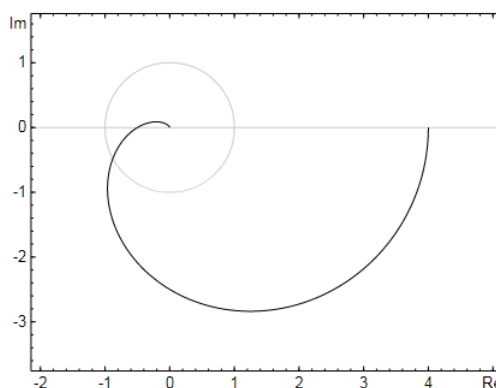


Рисунок 4.– Приклад амплітудно-фазо-частотної характеристики

Передавальна функція системи вимірювальної техніки – це повна динамічна характеристика засобу вимірювальної техніки, яка представляє собою відношення перетворення Лапласа та викликаючого цей відгук вимірюючого сигналу

$$H(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}, \quad (1.3)$$

де $Y(p) = L\{y(t)\} = \int_0^{\infty} y(t) e^{-pt} dt$ – перетворення Лапласа відгуку $y(t)$ системи вимірювальної техніки на вхідний сигнал $x(t)$;

$X(p) = L\{x(t)\} = \int_0^{\infty} x(t) e^{-pt} dt$ – перетворення Лапласа сигналу $x(t)$;

p – оператор Лапласа.

Приведена передавальна функція $W(p)$ засобу вимірювальної техніки визначається, як відношення передавальної функції $H(p)$ до статичного коефіцієнту перетворення

$$W(p) = \frac{H(p)}{K}, \quad (1.4)$$

Диференційне рівняння засобу вимірювальної техніки – це залежність похідних по часу вихідного сигналу $y(t)$ засобу вимірювальної техніки від похідних його вхідного сигналу $x(t)$

$$\sum_{m=0}^M a_m \frac{d^m y(t)}{dt^m} = \sum_{n=0}^N b_n \frac{d^n x(t)}{dt^n}, \quad (1.5)$$

де a_m , b_n – постійні коефіцієнти. Відношення коефіцієнтів b_0/a_0 є рівним статичному коефіцієнту перетворення K засобу вимірювальної техніки [2].

1.2. Мета дослідження динамічних характеристик

Метою роботи є побудова лінійного перетворювача. Та при використанні схеми, вказаної на рисунку 5 необхідним є знаходження допустимого коефіцієнту підсилення, оскільки при більших значеннях ($K_{\max\text{доп}}$) схема з термоперетворювачем, який знаходиться у зворотному зв'язку, переходить у режим збудження, якщо його амплітудно-фазо-частотна характеристика (АФЧХ) разом з підсилювачем проходить, або охоплює точку з координатами $(j0; 1)$.

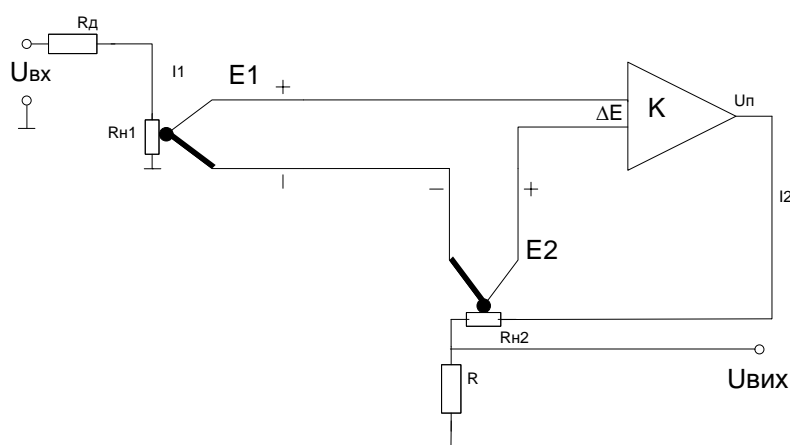


Рисунок 5.– схема лінійного перетворювача

де E1, E2 - термоперетворювачі

K – підсилювач (використовувався підсилювач AD8629)

R_d – додатковий опір

R – опір з якого знімається напруга виходу ($U_{\text{вих}}$)

При ввімкненні термоперетворювачів так, як показано на рисунку 5, термоперетворювач, який знаходиться у вхідній ланці – здійснює перетворення вхідної змінної напруги за середньо-квадратичним значенням в ЕРС по квадратичному закону. Для лінеаризації співвідношення вхідної та вихідної напруги (струмів) створюється замкнуте коло з прямої ланки у вигляді підсилювача з коефіцієнтом підсилення K , і зворотної ланки – у вигляді термоперетворювача, залежність ЕРС якого від струму (напруги) аналогічна залежності вхідного термоперетворювача. При великому коефіцієнті підсилення різниця ЕРС вхідного термоперетворювача та термоперетворювача зворотної ланки становить ΔE , яка в K раз менша вихідної напруги підсилювача (U_n). Якщо характеристики вхідного термоперетворювача та термоперетворювача зворотної ланки ідентичні, то відбувається лінеаризація залежності вхідної та вихідної напруг такого перетворювача.

Підсилювач K і термоперетворювач зворотної ланки мають свої динамічні характеристики, від яких залежить виконання умов стійкості. Оскільки на практиці підсилювач K є набагато більше широкосмуговим, ніж термоперетворювач, то для знаходження допустимого значення $K_{\text{доп}}$, знехтуємо його інерційністю і детально розглянемо залежності вхідної та вихідної напруг, як в усталеному режимі, так і в динамічному режимі. Для цього зробимо наведені нижче перетворення для статичного та динамічного режимів.

Співвідношення

Зробимо розрахунок даної схеми для отримання кінцевої формули лінійного перетворення:

$$E_1 = K_1 \cdot I_1^2$$

$$E_2 = K_2 \cdot I_2^2$$

$$E_1 = E_2 + \Delta E$$

$$K_1 \cdot I_1^2 = K_2 \cdot I_2^2 + \frac{I_2 \cdot (R_d + R)}{K}$$

$$U_{\Pi} = K \cdot \Delta E \rightarrow \Delta E = \frac{U_{\Pi}}{K}$$

$$U_{\text{вих}} = U_{\Pi} \cdot \frac{R}{R + R_{H2}} \rightarrow U_{\Pi} = U_{\text{вих}} \cdot \frac{R + R_{H2}}{R}$$

$$\Delta E = U_{\text{вих}} \cdot \frac{R + R_{H2}}{K \cdot R}$$

$$I_2 = \frac{U_{\Pi}}{R + R_{H2}} = \frac{\Delta E \cdot K}{R + R_{H2}}$$

$$\Delta E = \frac{I_2 \cdot (R + R_{H2})}{K}$$

$$K_1 \cdot I_1^2 = K_2 \cdot I_2^2 \cdot \left(1 + \frac{R_{H2} + R}{K \cdot K_2 \cdot I_2}\right) \rightarrow$$

$$\rightarrow I_1 = \sqrt{\frac{K_2}{K_1}} \cdot I_2 \cdot \sqrt{1 + \frac{R_{H2} + R}{K \cdot K_2 \cdot I_2}}, \quad (1.6)$$

або

$$\frac{U_{\text{вх}}}{R_d + R_{H1}} = \sqrt{\frac{K_2}{K_1}} \cdot \frac{U_{\text{вих}}}{R} \cdot \sqrt{1 + \frac{R_{H2} + R}{K \cdot K_2 \cdot I_2}}, \quad (1.7)$$

По аналогії з лінійними підсилювачами, в яких коефіцієнт підсилення дорівнює:

$$K = \frac{K}{1 + K\beta} = \frac{K}{K\beta(1 + \frac{1}{K\beta})}$$

Сума $1 + K\beta$ називається глибиною зворотного зв'язку. Вона показує, у скільки разів зменшується коефіцієнт підсилення при введенні зворотного зв'язку. Добуток $K\beta$ називається коефіцієнтом петлевого підсилення [13].

В нашому випадку еквівалентом петлевого підсилення є вираз (1.8), та впливає з формули (1.7)

$$\frac{K \cdot K_2 \cdot I_2}{R_{H2} + R}, \quad (1.8)$$

Для спрощення виразу (1.8) позначимо, що $K^{\cdot} = \frac{K}{R_{H2} + R}$

Тоді умовою стійкості із схеми рисунка 5 буде вираз:

$$|K_2(j\omega)|_{\pi} \cdot K^{\cdot} \cdot I_2 \leq 1, \quad (1.9)$$

де $|K_2(j\omega)|_\pi$ – значення модуля АФЧХ при фазовому зсуві 180 градусів, або π .

З вище вказаної формули визначимо допусковий коефіцієнт підсилення, при якому не відбувається збудження схеми з термоперетворювачем у зворотній ланці:

$$K_{\max \text{ доп}} < \frac{1}{I_{2 \max} |K_2(j\omega)|_\pi}, \quad (1.10)$$

$$K_{\max \text{ доп}} < \frac{1}{I_{2 \max} |K_2(j\omega)|_\pi}$$

Отже, метою даної роботи є дослідження динамічних характеристик термоперетворювачів та подальше забезпечення стійкості лінеаризованого перетворювача середньоквадратичних значень, якщо вони виконані шляхом включення в зворотну ланку термоперетворювача.

Перевагами таких лінеаризаторів є підвищення швидкодії та зменшення похибок, якщо вхідний і зворотний термоперетворювачі мають ідентичні характеристики, та знаходяться в однакових умовах експлуатації.

В подальшому створимо систему для експериментального визначення динамічних характеристик термоперетворювачів різних типів для подальшої реалізації лінеаризованих перетворювачів.

1.3. Синтез системи визначення динамічних характеристик термоперетворювачів

Синтез є способом зібрати ціле з функційних частин [3]. Відповідно до наведеного визначення, синтезом системи визначення динамічних характеристик є структурна схема, яка зображена на рисунку 6.

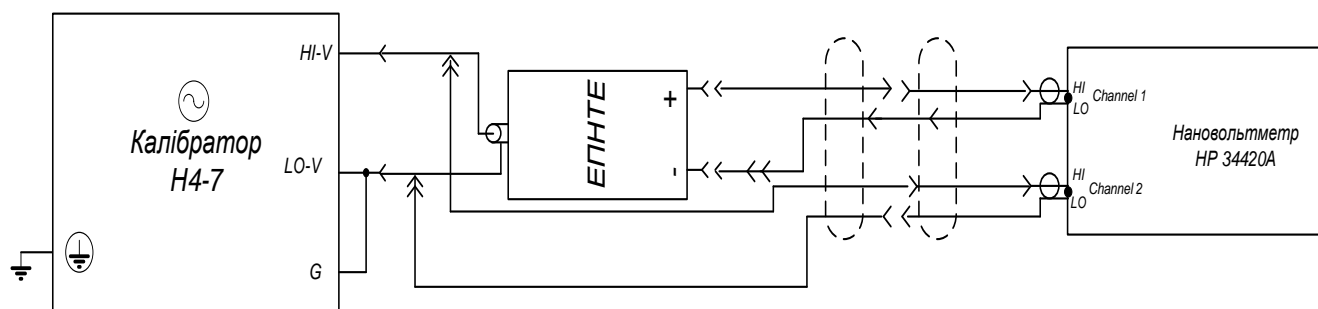


Рисунок 6. – Структурна схема інформаційно-виміральної системи для визначення динамічних характеристик термоелектричних перетворювачів.

Прилади, які використовувались при визначенні динамічних характеристик термоелектричних перетворювачів:

- Н4-7 - калібратор універсальний;
- НР34420А – нановольтметр ;
- ЕПНТЕ – термоперетворювач;
- Монітор;
- NI PXI з модулем NI PXI-4461.

Опис роботи схеми

З калібратора Н4-7 формується напруга із заданою частотою (0.1 Гц), яку подавали на термоперетворювач. За допомогою нановольтметра НР34420А відбувалось вимірювання вхідного сигналу та електрорушійної сили з термоперетворювача. Дані у вигляді графіків, а також значення цих величин відображались на екрані монітора.

Іншим приладом, який було використано для дослідження динамічних характеристик термоперетворювачів є NI PXI-4461 фірми National Instruments. Також для отримання більш точних динамічних характеристик необхідне формування інфранизько-частотних значень. Так, як NI-PXI має можливість як генерувати сигнал, так і вимірювати те, що отримано на виході пристрою, то відповідно було змінено структурну схему даної системи. Приклад отриманої структурної схеми (рисунок 7).

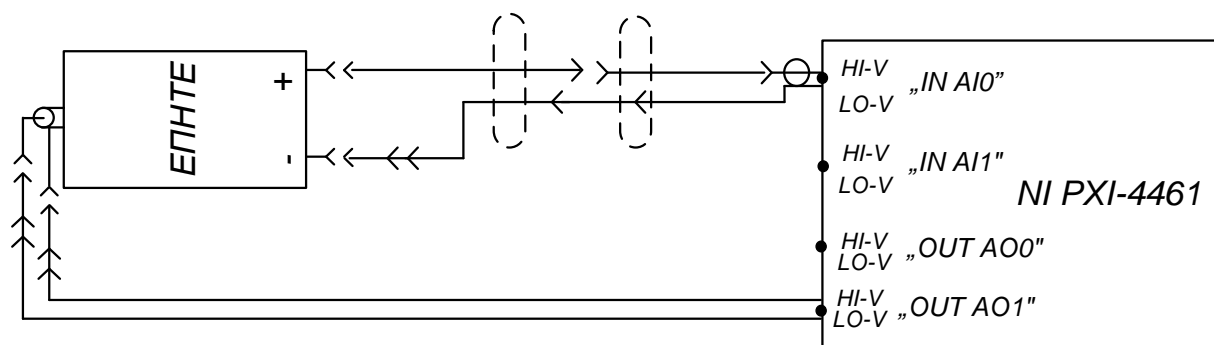


Рисунок 7. – Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи для визначення динамічних характеристик термоелектричних перетворювачів з генеруванням інфранизько-частотних значень за допомогою NI-PXI.

Дослідження динамічних характеристик проводилось на декількох типах термоперетворювачів:

- ТВБ–4 (термоперетворювач вакуумний, безконтактний);
- термоперетворювача науково-дослідного інституту приладобудування, Нижній Новгород;
- ДТПТ-6 виробництво – Чернівецький інститут термоелектрики;

Відповідно, перевагою вакуумних перетворювачів є відсутність втрат при нагріві термопари, проте є втрати по швидкодії порівняно з ДТПТ-6 та перетворювача НДІП.

1.4. Визначення динамічних характеристик нелінійної системи по перехідній характеристиці

Операторний метод, який використовувався у рівняннях орієнтований на лінійні системи. Так, як термоперетворювач є не лінійним, то було прийнято рішення в якості вхідного сигналу розглядати потужність, яка пропорційна квадрату напруги. Після цього залежність ЕРС запропоновано взяти, як лінійну відносно вхідної потужності. Оскільки ЕРС термоперетворювача відповідно до ефекту Зеєбека пропорційна різниці температур гарячого та холодного спаїв, а температура в усталеному режимі пропорційна підведеній потужності, тобто $P =$

$\frac{U^2}{R}$, то в якості вхідного сигналу розглядається квадрат миттєвих значень напруги, який лінійно пов'язаний з ЕРС термоперетворювача [4].

Для отримання перехідної характеристики було сформовано одиничний ступінчастий сигнал, який подавався на вхід термоперетворювача та отримано перехідну характеристику, яка продемонстрована на рисунку 8.

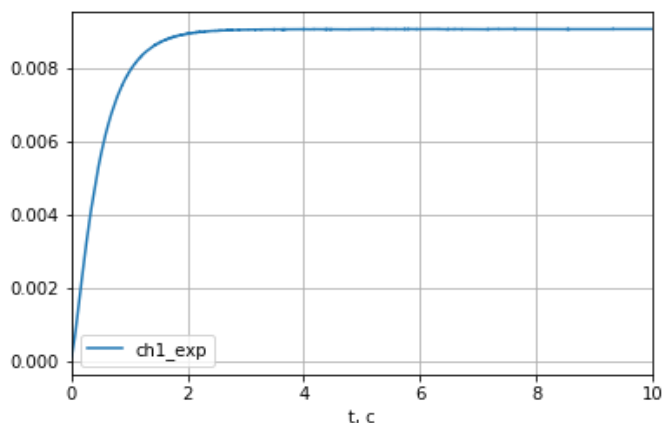


Рисунок 8.— Перехідна характеристика термоперетворювача

Для подальшого опрацювання даних та отримання постійних часу було виконано приведення перехідної характеристики до одиниці, рисунок 9.

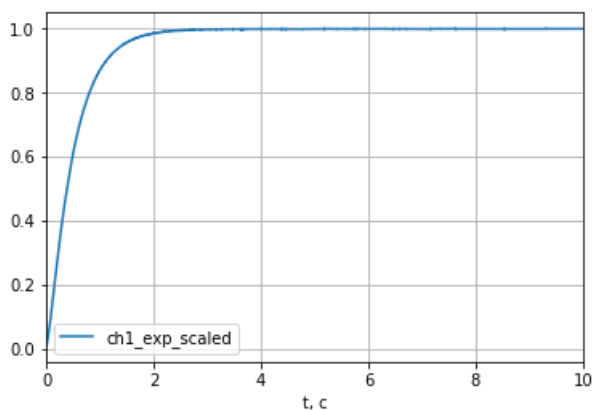


Рисунок 9.— Приведена перехідна характеристика термоперетворювача

Експериментальне визначення порядку моделі було проведено у третьому розділі. Відповідно до нього модель має три постійні часу.

Якщо модель передбачає одну сталу часу, рівняння має вигляд:

$$h(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (1.11)$$

Якщо передбачено в моделі дві сталі часу, рівняння має вигляд:

$$h(t) = 1 + K1e^{-\frac{t}{\tau_1}} + K2e^{-\frac{t}{\tau_2}}, \quad (1.12)$$

Якщо передбачено в моделі три сталі часу, рівняння має вигляд:

$$h(t) = 1 - K1e^{-\frac{t}{\tau_1}} - K2e^{-\frac{t}{\tau_2}} - K3e^{-\frac{t}{\tau_3}}, \quad (1.13)$$

де $K1$, $K2$, $K3$ – постійні коефіцієнти, які залежать від постійних часу [4].

Для отримання параметрів нелінійної системи, а саме постійних часу, було використано програмне забезпечення Python. Дані, отримані з приведеної перехідної характеристики було передано до модельного рівняння, та використано наближені значення параметрів і функцію `fsolve` для пошуку постійних часу. Так, як ми маємо три невідомі величини, то для їх пошуку було складено три рівняння. Визначено час та значення перехідної в точках перехідної характеристики для більш точного визначення сталих часу. Приклад лістингу знаходження постійних часу наведено нижче:

```
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import fsolve
import numpy as np

def func1(tau):
    a,b,c =tau
    t = [0.8, 1.1, 1.4]
    h = [0.7987385157785685, 0.8961842429711744, 0.9465901041941092]
    return ( (1.0-np.exp(-a*t[0]))*(b*c)/((a-b)*(a-c))-np.exp(-
b*t[0]))*(a*c)/((b-a)*(b-c))-np.exp(-c*t[0]))*(a*b)/((c-a)*(c-b)) -
h[0]),
            (1.0-np.exp(-a*t[1]))*(b*c)/((a-b)*(a-c))-np.exp(-
b*t[1]))*(a*c)/((b-a)*(b-c))-np.exp(-c*t[1]))*(a*b)/((c-a)*(c-b)) -
h[1]),
            (1.0-np.exp(-a*t[2]))*(b*c)/((a-b)*(a-c))-np.exp(-
b*t[2]))*(a*c)/((b-a)*(b-c))-np.exp(-c*t[2]))*(a*b)/((c-a)*(c-b)) -
h[2]) )
t = fsolve(func1, (0.05, 0.7, 0.001))
1/t[0],1/t[1],1/t[2]
```

Розв'язком вище приведенного програмного коду є такі значення постійних часу:

[0.06852792025747831, 7.84065318238857e-05, 0.45264854987577213]

1.5. Еквівалентна модель термоперетворювача

Термоперетворювач є одним з прикладів аперіодичної ланки. В свою чергу реальною реалізацією аперіодичної ланки є RC-ланка, яка представлена на рисунку 10 [5].

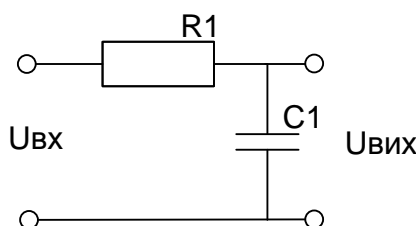


Рисунок 10.– Аперіодична ланка у вигляді RC-ланки

Оскільки в термоелектричних перетворювачах сталі часу обумовлені механізмом передачі температури від нагрівача через ізолюючий прошарок до термопари, то можна запропонувати модель розділеної системи у вигляді послідовно включених дискретно розташованих аперіодичних ланок, відповідно до еквівалентної схеми на рисунку 11.

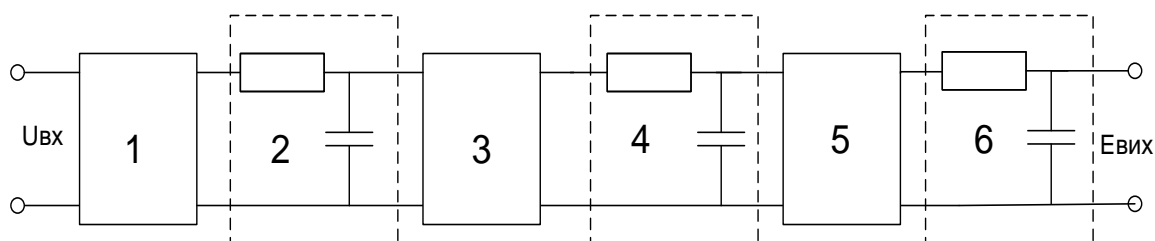


Рисунок 11. Еквівалентна схема термоелектричного перетворювача

В даній схемі під цифрами зображено:

1 – квадратор миттєвих значень напруги

2, 4, 6 – еквівалентні сталі часу τ_1 , τ_2 , τ_3

3,5 – повторювачі напруги

Вихідна напруга має постійну складову $\frac{U_m^2}{2}$ і змінну складову $\frac{U_m^2}{2} \cos 2\omega t$, які проходять через аперіодичні ланки. Таким чином частотна характеристика буде розрахована на частоті другої гармоніки вхідного сигналу.

Значення сталих часу τ можуть бути знайдені шляхом розв'язання нелінійних рівнянь, кількість яких залежить від кількості передбачених в моделі сталих часу.

Якщо модель передбачає одну сталу часу, рівняння має вигляд після відокремлення обчислювальним шляхом постійної складової:

$$\frac{E_a}{U_a^2} = \frac{K_1}{\sqrt{1+(2\omega\tau_1)^2}}, \quad (1.14)$$

Якщо передбачено в моделі дві сталі часу, рівняння має вигляд:

$$\frac{E_a}{U_a^2} = \frac{K_1}{\sqrt{1+(2\omega\tau_1)^2}} \cdot \frac{K_2}{\sqrt{1+(2\omega\tau_2)^2}}, \quad (1.15)$$

Якщо передбачено в моделі три сталі часу, рівняння має вигляд:

$$\frac{E_a}{U_a^2} = \frac{K_1}{\sqrt{1+(2\omega\tau_1)^2}} \cdot \frac{K_2}{\sqrt{1+(2\omega\tau_2)^2}} \cdot \frac{K_3}{\sqrt{1+(2\omega\tau_3)^2}}, \quad (1.16)$$

При збільшенні кількості сталих в моделі, збільшується кількість множників типу

$$\frac{K_i}{\sqrt{1+(2\omega\tau_i)^2}}, \quad (1.17)$$

Критерієм урахування кількості аперіодичних ланок є незмінність в заданих межах найбільших розрахованих сталих часу при збільшенні їх кількості в моделі. Іншими словами, стан загального коефіцієнта перетворення, який практично не залежить від нарощування кількості аперіодичних ланок в моделі [4].

1.6. Амплітудно-фазо-частотна характеристика термоелектричного перетворювача

АФЧХ на основі отриманих експериментальних даних термоперетворювача типу ТВБ-4. При фазовому зсуві π (180 градусів), як видно з АФЧХ термоперетворювача (рис.12, 13), має значення $2.125 \cdot 10^{-4}$.

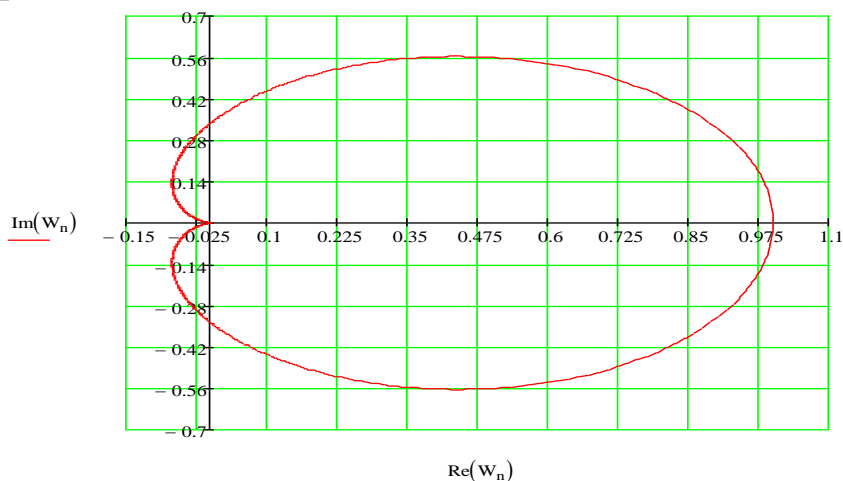


Рисунок 12.– Амплітудно-фазо-частотна характеристика термоперетворювача в полярній системі координат

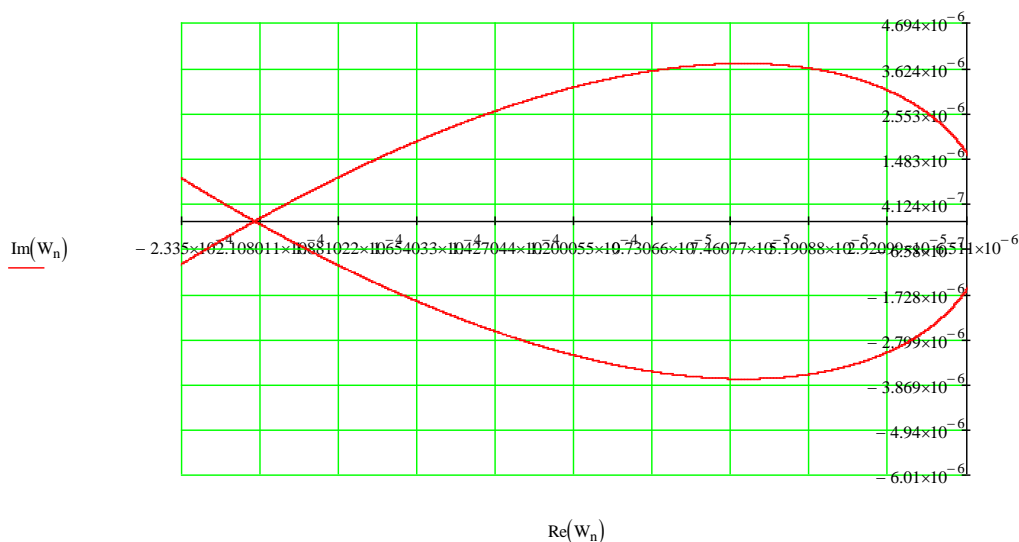


Рисунок 13.– АФЧХ термоперетворювача в районі фазового зсуву 180 градусів

Використовуючи нижче наведені співвідношення знайдемо максимально допустимий коефіцієнт підсилення. При встановленій ЕРС, яка дорівнює 10мВ, та струмі 10мА (0.01А) знайдемо коефіцієнт перетворення K_2 .

$$K_2 = \frac{E_2}{I_2^2} = 100 \left(\frac{\text{В}}{\text{А}^2} \right), \quad (1.18)$$

$|K_2(j\omega)|_{\pi} \cdot K^{\cdot} \cdot I_2 \leq 1$ Використаємо формулу (1.9), та знайдемо K^{\cdot} (K_2 при фазовому зсуві π (180 градусів) знайдено з графіку 13):

$$1 = K\beta = |K_2(j\omega)|_{\pi} \cdot K^{\cdot} \cdot I_2 = K^{\cdot} \cdot 100 \cdot 10^{-2} \cdot 2.125 \cdot 10^{-4} \rightarrow$$

$$\rightarrow K^{\cdot} = 4706 \left(\frac{\text{А}}{\text{В}} \right), \quad (1.19)$$

Так, як $K^{\cdot} = \frac{K}{R_{H2} + R}$, то виразимо, та знайдемо максимально-допустимий коефіцієнт підсилення:

$$K = K^{\cdot} (R_{H2} + R) = 705900, \quad (1.20)$$

На нульовій частоті:

$$K^{\cdot} = \frac{K}{R_{H2} + R} = \frac{115350}{150} = 4706$$

$$K\beta_{max} = K^{\cdot} \cdot I_2 \cdot K_2 = 4706, \quad (1.21)$$

Для забезпечення відповідного коефіцієнту підсилення, необхідним є доповнення електричної схеми лінійного перетворювача зворотним зв'язком, рисунок(14).

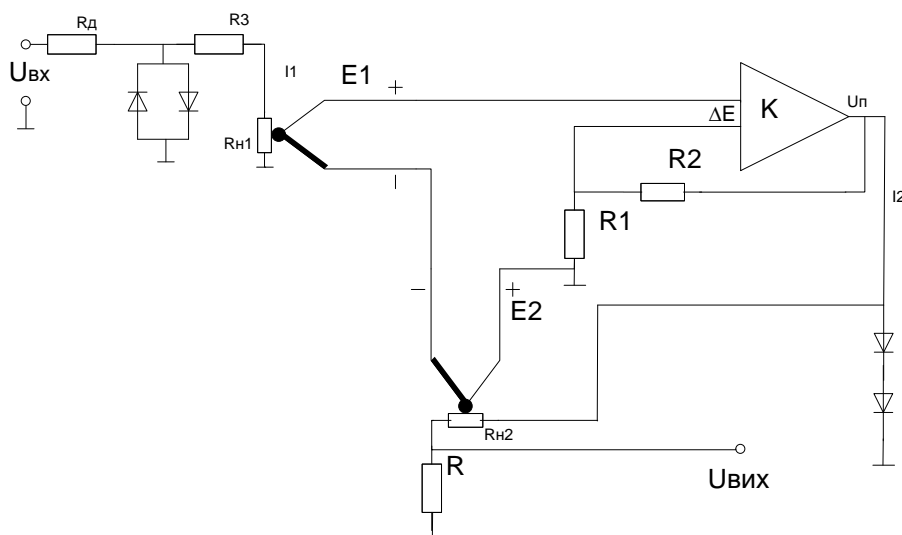


Рисунок 14.— Кінцева електрична схема з розрахованим допустимим коефіцієнтом підсилення, що забезпечує стійкість схеми з термоперетворювачем у зворотному зв'язку

Також на вході важливим є розміщення стабілітронів для захисту від перенавантаження.

Додатково розрахуємо номінали резисторів, які необхідні для забезпечення знайденого коефіцієнту підсилення:

$K = \frac{K}{1+K\beta}$, при $K\beta \gg 1$, формулу можна спростити до вигляду: $K \approx \frac{1}{\beta}$

Візьмемо резистор R_1 рівний 100(Ом).

$\beta_{\Pi} = \frac{R_1}{R_2+R_1}$, знайдемо необхідний резистор R_2 :

$$R_2 = \frac{R_1 - \beta_{\Pi} R_1}{\beta_{\Pi}} = 70,6 \text{ (МОм)}, \quad (1.22)$$

1.6. Висновок

Перший розділ присвячений огляду теоретичних відомостей динамічних характеристик; опису приладів та структурних схем, які використовувались для отримання амплітудно-фазо-частотної характеристики та перехідної характеристики; наведено приклад лістингу для отримання постійних часу використовуючи перехідну характеристику. Також для перетворювача ТВБ-4 наведена на рисунку 13 АФЧХ в районі фазового зсуву 180 градусів. Наведено електричну схему із знайденим допустимим коефіцієнтом підсилення.

2. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ

2.1 Опис апаратного та програмного забезпечення

2.1.1. Огляд NI-PXI та модулю NI-PXI 4461

На рисунку 15 продемонстровано шасі NI-PXI 1042 з підключеними модулями для формування та вимірювання сигналу, осцилографом та підключеним монітором. Також до шасі входить PXIe-8106 – вбудований контролер на базі Intel Core Duo для систем PXI і CompactPCI. Використовується для модульних приладів та обладнання збору даних. PXIe-8106 включає порт 10/100 / 1000BASE-TX (Gigabit) Ethernet і чотири високошвидкісні порти USB, інтегрований жорсткий диск, послідовний порт та інші периферійні пристрої введення-виведення, що дозволяють підключати монітор для відображення сформованого та вимірюваного сигналів [6].

Шасі призначено для установки модулів PXI і їх підключення за допомогою високопродуктивної об'єднавчої плати, оснащеної засобами синхронізації.

Шасі PXI сумісні з модулями PXI, PXI Express і гібридними модулями PXI і відповідають вимогам до охолодження більшості модулів PXI з високим споживанням потужності. Крім того, є варіанти шасі, які мінімізують шум, вироблений при роботі системи. Шасі може складатися з 18 слотів, що підтримують комбінацію модулів PXI і PXI Express, а також варіанти живлення від змінного і постійного струму [7].

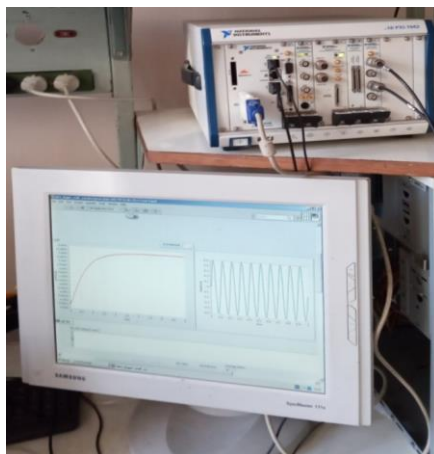


Рисунок 15.— Шасі NI-PXI 1042 з підключеними модулями та монітором

National Instruments PXI-4461 – високоточний модуль збору даних, спеціально розроблений для застосувань звуку та вібрації. Цей модуль включає апаратне та програмне забезпечення, необхідне для проведення точних вимірювань за допомогою мікрофонів, акселерометрів та інших перетворювачів, що мають дуже високий динамічний діапазон. Поширені програми включають аудіо, автомобільні випробування NVH та моніторинг стану машин. Для додатків, що вимагають тисячі каналів, є можливість синхронізувати роботу двох або більше пристроїв NI 446x менше 0,1 ступеня невідповідності між каналами.



Рисунок 16.– Модуль NI-PXI 4461

NI PXI-4461 доступний у форматах PXI та PXI Express, сумісних з гібридами. Є можливість використовувати модулі PXI - 446 x сумісні з гібридними слотами PXI, слотами CompactPCI та гібридами слотів, які є в новій шасі PXI Express [8].

2.1.2 HP34420A – нановольтметр

Нановольтметр (рисунок 17) має розподільчу здатність 0,1 nV при найвищій чутливості 1 мВ на $7 \frac{1}{2}$ десяткових розрядів, що дозволяє мати необхідну чутливість при вимірюваннях термоЕРС навіть менших за 1 мВ.



Рисунок 17. – Нановольтметр HP34420A.

Для вимірювання напруги 1-канальний діапазон:

- 1 мВ, 10 мВ, 100 мВ, 1 В, 10 В, 100 В

Максимальна роздільна здатність:

- 0,1 нВ (діапазон 1 мВ)

Канал 2 Діапазони: 1 мВ, 10 мВ, 100 мВ, 1 В, 10 В

Таблиця 2.1. Похибка вимірювання постійної напруги

Межі вимірювань	1 мВ; 10 мВ; 100 мВ, 1 В, 10 В, 100 В
Похибка вимірювання *	1 мВ - $(0,005\% \cdot U_{\text{изм}} + 0,002\% \cdot U_{\text{предел}})$ 10 мВ - $(0,005\% \cdot U_{\text{изм}} + 0,0003\% \cdot U_{\text{предел}})$ 100 мВ - $(0,004\% \cdot U_{\text{изм}} + 0,0004\% \cdot U_{\text{предел}})$ 1 В - $(0,0035\% \cdot U_{\text{изм}} + 0,0004\% \cdot U_{\text{предел}})$ 10 В - $(0,003\% \cdot U_{\text{изм}} + 0,0004\% \cdot U_{\text{предел}})$ 100 В - $(0,0035\% \cdot U_{\text{изм}} + 0,0005\% \cdot U_{\text{предел}})$

Таблиця 2.2. Похибка вимірювання опору

Межі вимірювань	1 Ом; 10 Ом; 100 Ом, 1 кОм, 10 кОм, 100 кОм, 1 МОм
Похибка вимірювання	1 Ом - $(0,007\% \cdot R_{\text{изм}} + 0,0002 \cdot R_{\text{предел}})$ 10 Ом - $(0,006\% \cdot R_{\text{изм}} + 0,0002 \cdot R_{\text{предел}})$ 100 Ом - $(0,006\% \cdot R_{\text{изм}} + 0,0002 \cdot R_{\text{предел}})$ 1 кОм - $(0,006\% \cdot R_{\text{изм}} + 0,0002 \cdot R_{\text{предел}})$ 10 кОм - $(0,006\% \cdot R_{\text{изм}} + 0,0002 \cdot R_{\text{предел}})$

	100 кОм – (0,006%*R _{изм} +0,0004*R _{предел}) 1 МОм – (0,007%*R _{изм} +0,0004*R _{предел})
Тестовий струм	Від 5 мкА до 10 мА

- Максимальна роздільна здатність: 0,1 нВ (на діапазоні 1 мВ)

Незалежний NULL для кожного каналу Канал 1 від LO до Channel 2 LO, ізолюваний до 150 V_{peak}.

Встановити інтеграцію "Інтеграція часу". Вказується кількість циклів ліній електропередач. Ви можете встановити NPLC на 0.02, 0.2, 1, 2, 10, 20, 100 або 200.

- Ви можете встановити час інтеграції до одного з трьох фіксованих значень, вибравши номер відображуваних цифр.

- Ви можете встановити час інтеграції в меню MEASURES за допомогою команди INTEGRATE.

- Час інтеграції безпосередньо пов'язаний з максимальною кількістю цифр, що відображатиметься на приладі.

- Ви завжди можете вибрати, щоб показати менше цифр, ніж максимально дозволений (мінімальна кількість цифр, показана на 4^{1/2}).

Таблиця 2.3.

Відповідність між NPLC та кількістю відображуваних цифр на екрані

NPLC	Цифровий фільтр вимкнено Максимальна кількість цифр	Цифровий фільтр відображається на макс. цифрах
0.02	4 ^{1/2}	5 ^{1/2}
0,2	5 ^{1/2}	6 ^{1/2}
1	6 ^{1/2}	7 ^{1/2}
2	6 ^{1/2}	7 ^{1/2}
10	6 ^{1/2}	7 ^{1/2}
20	7 ^{1/2}	7 ^{1/2}
100	7 ^{1/2}	7 ^{1/2}
200	7 ^{1/2}	7 ^{1/2}

Для мінімізації завад, що виникають в електромережі, необхідним є обрання 200 NPLC.

2.1.3. Н4-7 калібратор універсальний

Також цей прилад може називатися: Н4 7, Н47, Нч-7, н4-7, н4 7, н47, н4-7, н47



Рисунок 18.– Зовнішній вигляд Н4-7 з підсилювачем напруги.

Н4-7 – калібратор універсальний призначений для повірки, калібрування та досліджень широкої номенклатури приладів і пристроїв, як в складі автоматизованих систем (з приладовими інтерфейсами IEEE 488), так і автономно.

Калібратори універсальні Н4-7 мають стандартний набір функцій, що забезпечує реалізацію режимів калібратора постійної і змінної напруги, струму і декадного ряду опорів. У комплект входить: базовий прилад (калібратор); підсилювач напруги; перетворювач напруга-струм Я9-44.

Технічні характеристики Н4-7:

- напруга постійного струму (режим DCV) – від 0,1 мВ до 1000 В;
- напруга змінного струму (режим ACV), при частоті від 0,1 Гц до 1 МГц – від 0,1 мВ до 700 В;
- сила постійного струму (режим DCI) – від 0,1 нА до 30 А;
- сила змінного струму (режим ACI) при частоті від 0,1 Гц до 10 кГц – від 0,1 нА до 30 А;
- діапазон частот калібраторів Н4-7 – від 0,1 Гц до 1 МГц;
- похибка в діапазоні частот від 0,1 Гц до 20 кГц – $\pm 0,005\%$;
- швидкодія – від 20 мс до 50 мс;

- відтворення напруг постійного струму в діапазоні – від 0,1 мкВ до 1000 В;
- відтворення сили постійного струму – від 0,1 нА до ± 30 А.

2.1.4. Особливості роботи з Labview

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) — платформа та середовище розробки для візуальної мови програмування компанії National Instruments (США). Метою даної мови є автоматизація використання обчислювального та вимірювального лабораторного обладнання. Розробка програми в LabView відбувається одночасно в двох вікнах: блок-діаграма та лицева панель. На лицевій панелі створюється графічний інтерфейс програми і паралельно ведеться зв'язка інтерфейсу з власне програмою, яка створюється за допомогою спеціальних блоків. Таким чином графічний код програми має вигляд специфічної блок-діаграми.

Програмування потоку даних (dataflow)

Виконання програми у LabView визначається структурою блок-діаграми (LV-кодом), при створенні якої програміст з'єднує різноманітні вузли-функції малюючи лінію-провід. Таким чином створюється течія(потік) даних. Проводами передаються змінні і вузол виконує свою роботу, як тільки усі необхідні дані будуть доступні на його входах. Таким чином виконання програми на непов'язаних один з одним вузлах може іти паралельно.

Графічне програмування

При розробці LabView програми, розробник також створює графічний інтерфейс, що представлений на "лицевій панелі" (Front Panel). Програму в LabView в цілому називають віртуальним інструментом (Virtual Instrument-VI). Кожен VI складається з двох основних вікон: блок-діаграми та лицевої панелі. Також в блок-діаграму можуть вбудовуватись сполучні панелі(Connector Pane), за допомогою яких утворюються підпрограми (SubVi), які можуть створюватись з

уже готових віртуальних інструментів (VI). Елементи управління та індикатори на
лицевій панелі дозволяють оператору здійснювати ввід/вивід даних при роботі з
віртуальним інструментом.

LabVIEW включає ряд уже готових програм, документацію, а також велику кількість інструментів для створення практично повноцінних програм різноманітного призначення, в тому числі і мережевих, які працюють по технології клієнт/сервер [9].

2.2. Огляд розробленого програмного забезпечення

Управління NI PXI можливе за допомогою такого переліку програмного забезпечення National Instruments LabVIEW, LabWindows / CVI або Measurement Studio. Згідно з вище наведеним переліком було обрано ПЗ LabView для формування вхідного сигналу та вимірювання вихідних даних. Приклади основних програмних блоків, створених за допомогою LabView наведені нижче.

На рисунку 19 зображено блоки, які відповідають за створення віртуального каналу для генерування вхідної напруги та обрання режиму генерації, в даному випадку обрано режим постійної генерації напруги.

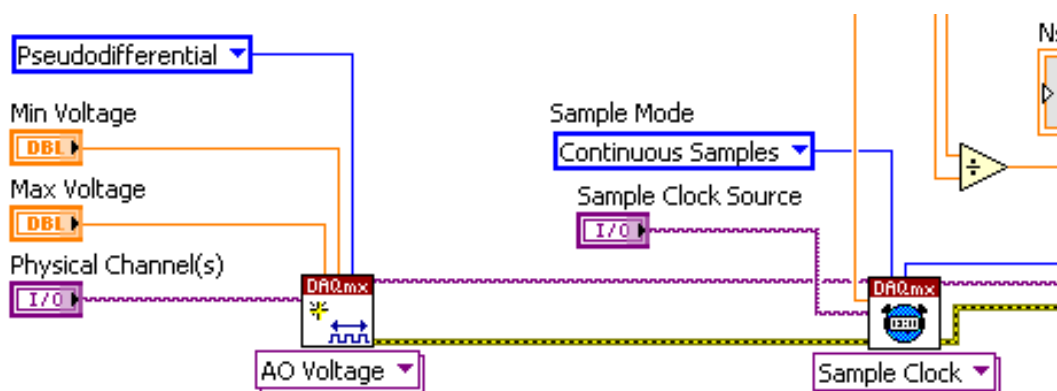


Рисунок 19. – Блок для створення віртуального каналу генерування вхідної напруги

На наступному рисунку приділено увагу блоку, який відповідає за створення каналів для вимірювання вихідних сигналів та генерацію встановлених значень напруги та частоти. Також зроблено можливість визначати кількість періодів, які

необхідно відобразити, кількість точок на періоді та кількість періодів сигналу, який генерує ЦАП для зберігання в буфері RAM ЦАП.

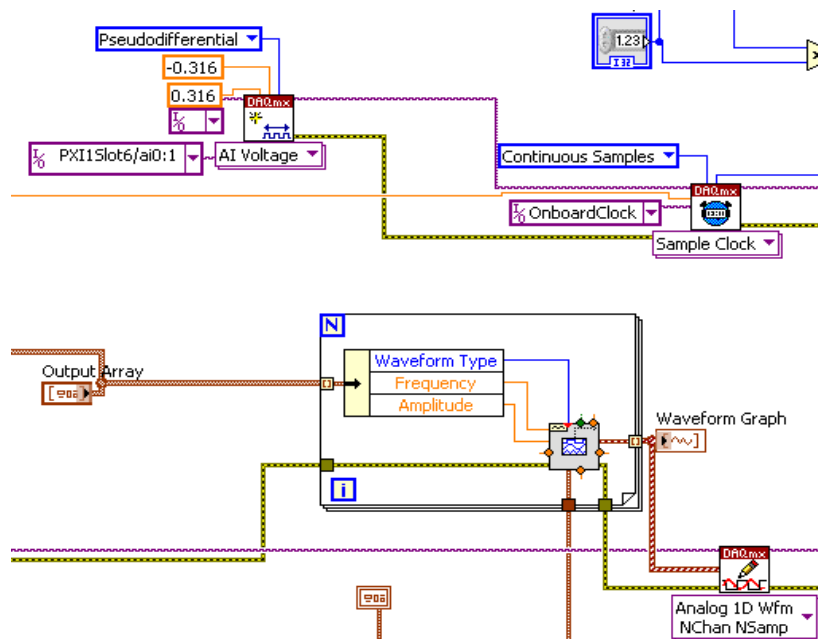


Рисунок 20. – Блок генерації напруги

В даному блоці продемонстровано зроблену затримку для того, щоб програмно пропустити початок формування амплітудо-фазо-частотної характеристики для більш точної подальшої обробки даних.

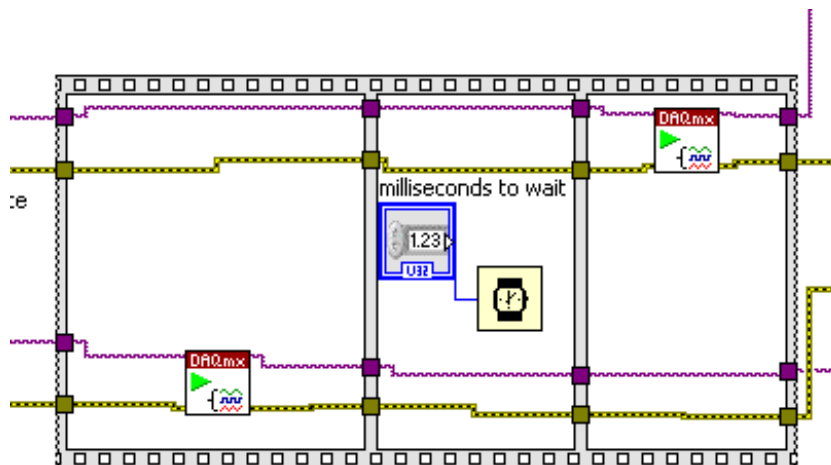


Рисунок 21. – Блок затримки часу вимірювання сигналу

Даний рисунок демонструє розбиття вхідного та вихідного сигналу на два масиви.

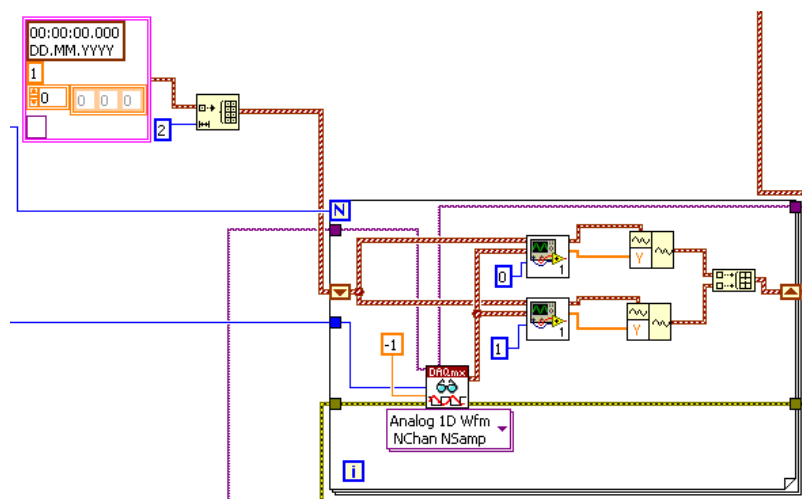


Рисунок 22. – Розбиття вимірних сигналів (ЕРС та вхідний) на два масиви

Даний рисунок демонструє можливість зберігання кінцевих даних (електрорушійної сили та вхідного сигналу) у файл з відповідним форматом.

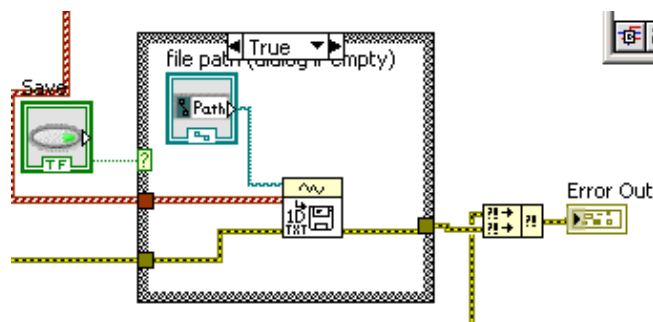


Рисунок 23. – Блок зберігання даних

Останній блок даного програмного забезпечення є основним, тому що в ньому відбувається приведення вхідного сигналу до вихідного та подальше отримання АЧХ для створення нелінійних рівнянь та отримання постійних часу.

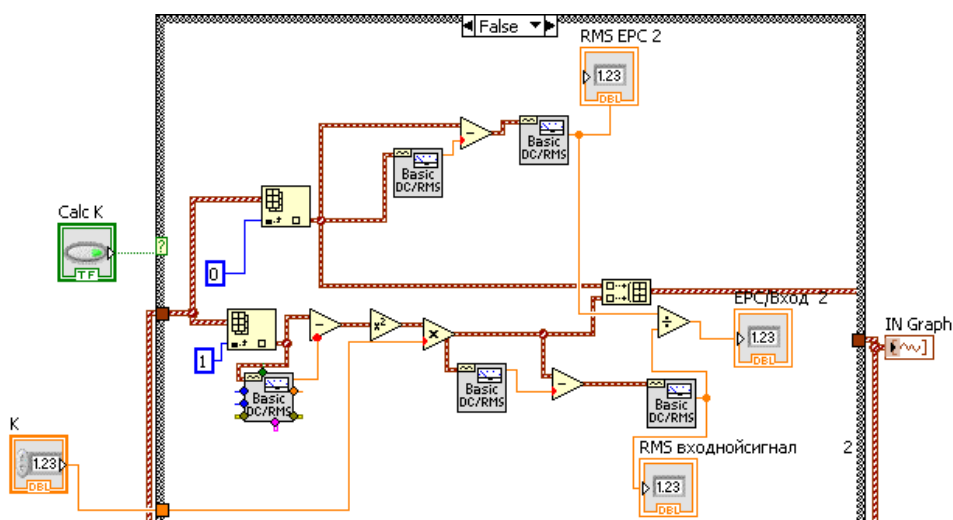


Рисунок 24. – Блок нормування сигналів та подальшого отримання АЧХ

2.3. Експериментальні дослідження, процедури та алгоритми

Для отримання динамічних характеристик термоелектричного перетворювача було використано та порівняно два методи, а саме за допомогою АФЧХ та перехідної характеристики.

За допомогою вимірювальних приладів вимірюються миттєві значення напруги чи струму. Так як вихідна величина ЕРС, сформована термоперетворювачем, має квадратичну залежність, то необхідне піднесення вхідної величини (напруга чи струм) до квадрату. В якості приладу для формування вхідного сигналу, було обрано Н4-7, який точно задає напругу та дозволяє формувати частоту 0.1 Гц. Приладом для вимірювання вхідного та вихідного сигналу було обрано нановольтметр НР34420А. До складу НР34420А входить мультиплексор, який відноситься до пристроїв комутування цифрової інформації. Вони здійснюють комутацію одного з декількох інформаційних входів x_i до одного виходу y , що призводить до зменшення швидкодії. Експериментально встановлено (рис. 25, рис. 26), що швидкодія одного каналу НР34420А в 2,5 рази більша за швидкість роботи двох вимірювальних каналів. Через це нановольтметр є не задовільним приладом для дослідження динамічних характеристик при малих сталих часу досліджуваних ланок.

398	15:09:08	-6.90042190E-03
399	15:09:08	-6.90048990E-03
400	15:09:08	-6.90067990E-03
401	15:09:08	-6.90074790E-03
402	15:09:09	-6.90072590E-03
403	15:09:09	-6.90079190E-03
404	15:09:09	-6.90066990E-03
405	15:09:09	-6.90079390E-03
406	15:09:09	-6.90087190E-03
407	15:09:09	-6.90099390E-03
408	15:09:09	-6.90101590E-03
409	15:09:09	-6.90099390E-03
410	15:09:09	-6.90117190E-03
411	15:09:09	-6.90126190E-03
412	15:09:09	-6.90135190E-03
413	15:09:09	-6.90122990E-03
414	15:09:09	-6.90103990E-03
415	15:09:09	-6.90122990E-03
416	15:09:09	-6.90125190E-03
417	15:09:10	-6.90129590E-03
418	15:09:10	-6.90141990E-03
419	15:09:10	-6.90149790E-03
420	15:09:10	-6.90128590E-03
421	15:09:10	-6.90128590E-03

Рис. 25. – Вибірка даних, отриманих при роботі одного вимірювального каналу.

398	16:01:46	-6.08530000E-03	+8.97830000E-03
399	16:01:47	-5.17810000E-03	+7.75210000E-03
400	16:01:47	-4.30480000E-03	+6.49410000E-03
401	16:01:47	-3.38920000E-03	+5.28679990E-03
402	16:01:47	-2.43899990E-03	+4.14979990E-03
403	16:01:47	-1.45149990E-03	+3.15060000E-03
404	16:01:47	-4.47800000E-04	+2.32580000E-03
405	16:01:48	+5.49300000E-04	+1.71520000E-03
406	16:01:48	+1.54130000E-03	+1.33610000E-03
407	16:01:48	+2.51380000E-03	+1.21120000E-03
408	16:01:48	+3.46230000E-03	+1.35220000E-03
409	16:01:48	+4.38349990E-03	+1.74870000E-03
410	16:01:48	+5.24999990E-03	+2.39500000E-03
411	16:01:49	+6.06530000E-03	+3.25990000E-03
412	16:01:49	+6.82250000E-03	+4.31990000E-03
413	16:01:49	+7.50620000E-03	+5.50650000E-03
414	16:01:49	+8.12289990E-03	+6.80360000E-03
415	16:01:49	+8.64869990E-03	+8.12459990E-03
416	16:01:49	+9.08310000E-03	+9.41490000E-03
417	16:01:49	+9.42880000E-03	+1.06194000E-02
418	16:01:50	+9.68700000E-03	+1.16893990E-02
419	16:01:50	+9.84200000E-03	+1.26559990E-02
420	16:01:50	+9.90510000E-03	+1.32940000E-02
421	16:01:50	+9.85709990E-03	+1.37290000E-02

Рис. 26 – Вибірка даних, отриманих при роботі двох вимірюючих каналів.

На далі експеримент проводився за допомогою NI PXI, а саме формування вхідного сигналу та вимірювання вихідного сигналу. За допомогою вимірювальних приладів вимірюються миттєві значення напруги чи струму. Вхідна напруга лінійно пов'язана з потужністю. Так як вихідна величина ЕРС, сформована термоперетворювачем та має квадратичну залежність, тому необхідне піднесення вхідної величини (напруга чи струм) до квадрату. Для зображення електрорушійної сили термопари та вхідної напруги в одному масштабі, було додатково використано подільник напруги.

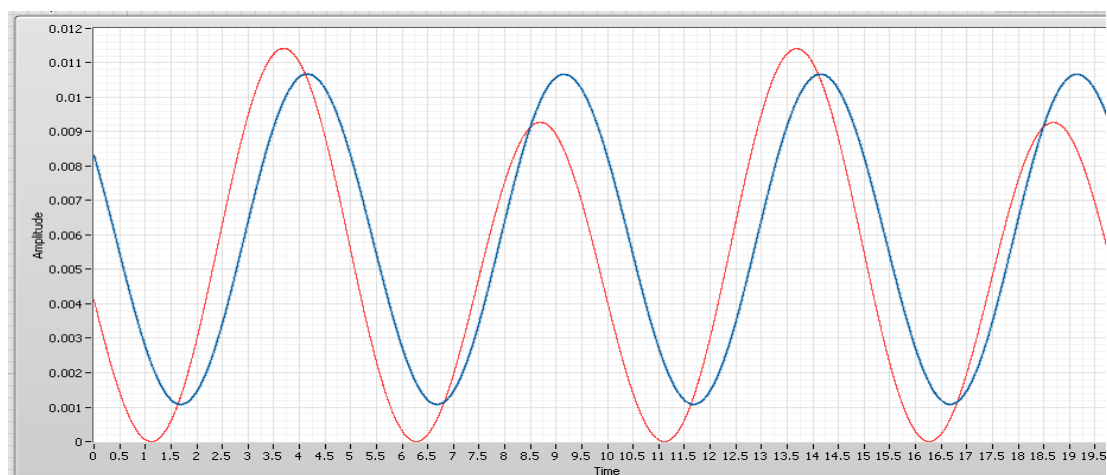


Рис.27.– Зображення електрорушійної сили та вхідної напруги в одному масштабі.

Так як відбувається піднесення до квадрату вхідної напруги, яка є синусною, тому згідно з формулою

$$\sin^2 \omega t = \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}, \quad (2.1)$$

ми спостерігає зміщення відносно нуля (асиметричність через постійну складову). Після прибирання даної постійної складової було отримано такий графік (рис. 28)

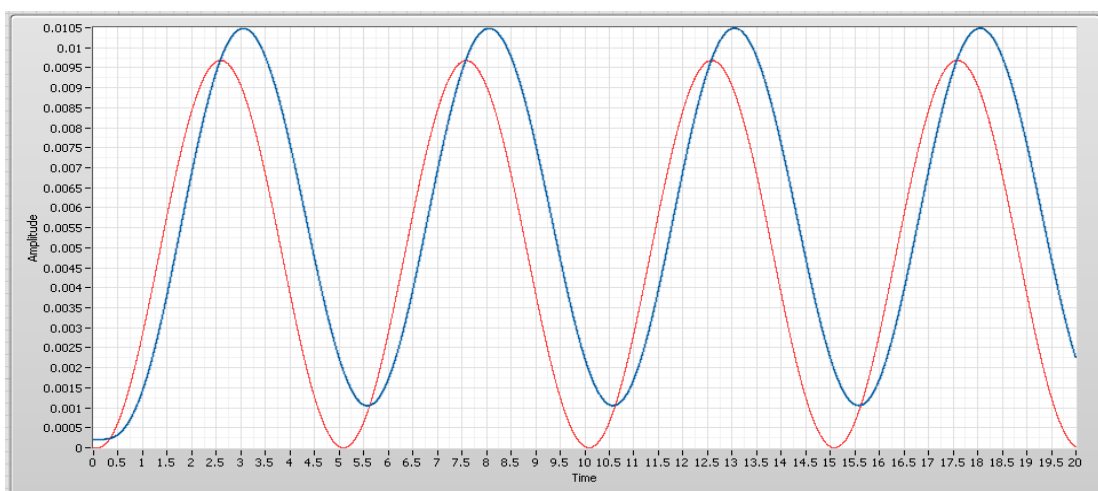


Рисунок 28. – Вигляд вхідного сигналу без постійної складової.

Так, як на низьких частотах немає сталих часу, які впливають на вихідний сигнал, тому на частоті 0.01 Гц було сформовано вхідний та вихідний сигнал. Наступні дії спрямовані на отримання амплітудо-частотної характеристики, для цього було порівняно вхідний та вихідний сигнал на низькій частоті, зроблено їх відношення.

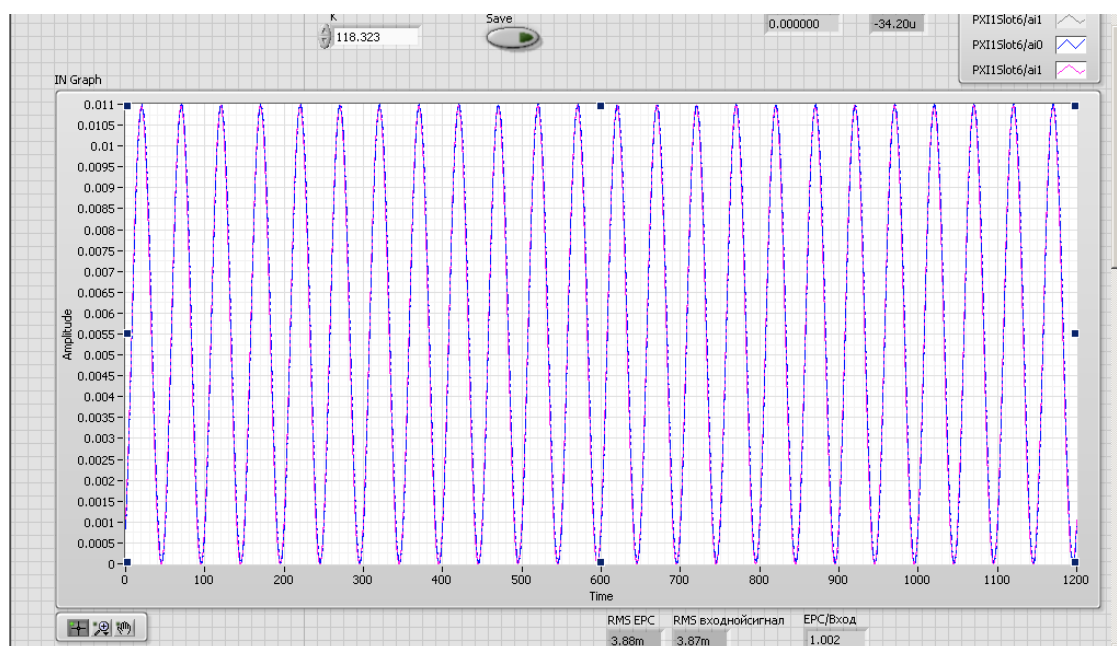


Рисунок .29 – Прирівняння вихідного та вхідного сигналу

При подальшій зміні частоти (збільшенні), відношення ЕРС до вхідного сигналу буде зменшуватись, що можна спостерігати по АЧХ, яка зображена на рисунку 30.

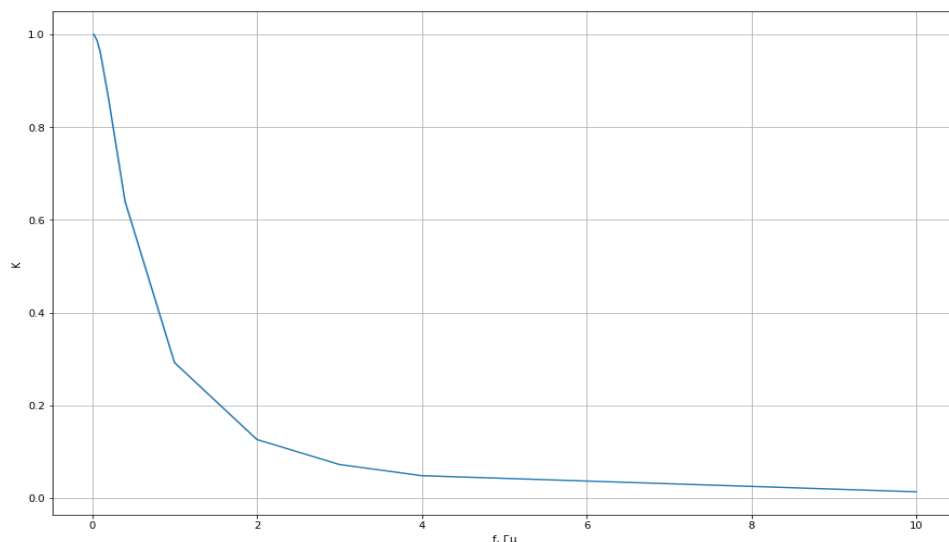


Рисунок .30 – Амплітудо-частотна характеристика для ТВБ-4

Далі було виконано обробку даних та отримано сталі часу за допомогою програмного забезпечення Python.

Також для визначення динамічних характеристик необхідним є формування перехідного процесу (Рисунок 31).

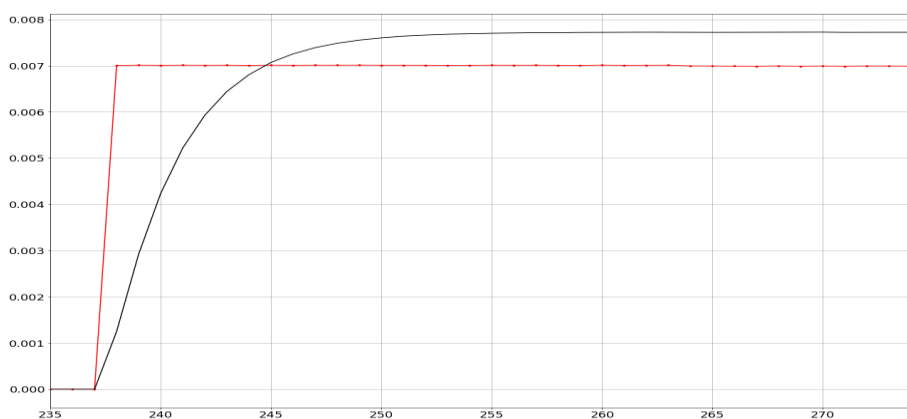


Рисунок 31. – Перехідний процес термоперетворювача та вхідного сигналу.

Для отримання масиву даних було сформовано десять перехідних процесів, що дозволить більш точно визначити постійні часу термоперетворювача. Обробку

даних та отримання сталих часу виконано за допомогою програмного забезпечення Python.

2.4. Визначення параметрів моделі за АФЧХ

До складу термоперетворювача входять три RC - ланки: нагрівач, напівпровідна бусинка та сама термopapa. Так як ми маємо три складові, то для знаходження сталих часу необхідно скласти три рівняння, які є нелінійними, рисунок 32. Ліва частина даних рівнянь, це відношення вихідної напруги до вхідної на відповідній частоті.

$$\begin{aligned}
 1 &= \frac{1}{\sqrt{1 + (w1 \cdot t1)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (w1 \cdot t2)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (w1 \cdot t3)^2}} \\
 0.861045 &= \frac{1}{\sqrt{1 + (w2 \cdot t1)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (w2 \cdot t2)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (w2 \cdot t3)^2}} \\
 0.126435 &= \frac{1}{\sqrt{1 + (w3 \cdot t1)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (w3 \cdot t2)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (w3 \cdot t3)^2}}
 \end{aligned}$$

Рисунок 32.— Система рівнянь для знаходження постійних часу

Для вирішення рівнянь необхідно вказати початкові значення, згідно з якими проводиться вирішення рівнянь.

Приклад лістингу програмного коду написаного на мові програмування Python для розрахунку постійних часу термоперетворювача. Для перевірки було використано декілька функцій розрахунку, а також перевірено в інших математичних пакетах, таких, як MatLab та Mathcad.

Лістинг 1:

```

from scipy.optimize import least_squares
import numpy as np
import scipy as sp
def func(x):
    t1,t2,t3 = x
    w1 = 2*0.01*2*np.pi
    w2 = 2*0.1*2*np.pi
    w3 = 2*1*2*np.pi
    return
    (((1/(sp.sqrt(1+(w1*t1)**2)))*(1/(sp.sqrt(1+(w1*t2)**2)))*(1/(sp.sqrt(1+(w1*t3)**2)))))-1,

```

```

((1/(sp.sqrt(1+(w2*t1)**2))) * (1/(sp.sqrt(1+(w2*t2)**2))) * (1/(sp.sqrt(1+(w2*t3)**2)))) - 0.86104,

((1/(sp.sqrt(1+(w3*t1)**2))) * (1/(sp.sqrt(1+(w3*t2)**2))) * (1/(sp.sqrt(1+(w3*t3)**2)))) - 0.126632)
x0 = (0.02, 0.001, 0.4)
res_1 = least_squares(func, x0)
print (res_1)

```

Виконання даного програмного коду:

```

active_mask: array([0., 0., 0.])
      cost: 1.4898063160402692e-06
      fun: array([-1.72594150e-03,  2.71631513e-05, -8.51577551e-07])
      grad: array([4.76318403e-09, 1.33656455e-10, 1.77992945e-09])
      jac: array([[ -1.11579150e-03, -3.12924385e-07, -7.27018714e-03],
                 [-9.54957902e-02, -2.77608633e-05, -4.70213495e-01],
                 [-7.90226236e-01, -4.08230349e-04, -2.65792016e-01]])
      message: '`gtol` termination condition is satisfied.'
      nfev: 24
      njev: 13
      optimality: 4.7631840298225545e-09
      status: 1
      success: True
      x: array([7.07864846e-02, 2.04073619e-05, 4.62744636e-01])

```

Лістинг 2:

```

def f(t):
    t1,t2,t3 = t
    w1 = 2*0.01**2*np.pi
    w2 = 2*0.1**2*np.pi
    w3 = 2*1**2*np.pi
    return
    ((1/(sp.sqrt(1+(w1*t1)**2))) * (1/(sp.sqrt(1+(w1*t2)**2))) * (1/(sp.sqrt(1+(w1*t3)**2)))) - 1,

    ((1/(sp.sqrt(1+(w2*t1)**2))) * (1/(sp.sqrt(1+(w2*t2)**2))) * (1/(sp.sqrt(1+(w2*t3)**2)))) - 0.86104,

    ((1/(sp.sqrt(1+(w3*t1)**2))) * (1/(sp.sqrt(1+(w3*t2)**2))) * (1/(sp.sqrt(1+(w3*t3)**2)))) - 0.126632)

t = fsolve(f, (0.02, 0.0001, 0.4))
print (t)

```

Виконання даного програмного коду:

```
[5.80050533e-05 7.07847955e-02 4.62736405e-01]
```

Лістинг 3:

```
import numpy as np
from scipy.optimize import root
def func(x):
    t1,t2,t3 = x
    w1 = 2*0.01*2*np.pi
    w2 = 2*0.1*2*np.pi
    w3 = 2*1*2*np.pi
    return
    (((1/(sp.sqrt(1+(w1*t1)**2)))*(1/(sp.sqrt(1+(w1*t2)**2)))*(1/(sp.sqrt(1+(w1*t3)**2)))-1,

    ((1/(sp.sqrt(1+(w2*t1)**2)))*(1/(sp.sqrt(1+(w2*t2)**2)))*(1/(sp.sqrt(1+(w2*t3)**2)))-0.86104,

    ((1/(sp.sqrt(1+(w3*t1)**2)))*(1/(sp.sqrt(1+(w3*t2)**2)))*(1/(sp.sqrt(1+(w3*t3)**2)))-0.126632)
x = root(func, x0=(0.08,0.005,0.4), method='lm')
print (x)
```

Виконання даного програмного коду:

```
cov_x: array([[ 4.69938578e+06, -3.43956769e+08, -4.23211163e+05],
              [-3.43956769e+08,  2.51748474e+10,  3.09754710e+07],
              [-4.23211163e+05,  3.09754710e+07,  3.81179213e+04]])
fjac: array([[ 7.95971016e-01,  3.02984677e-01,  9.91465470e-03],
              [ 3.20292779e-01,  4.34984553e-01,  2.50368400e-04],
              [ 1.04810327e-02, -5.35210846e-04,  6.30255402e-06]])
fun: array([-1.72594213e-03,  2.71587754e-05, -8.66671579e-07])
ipvt: array([1, 3, 2], dtype=int32)
message: 'Both actual and predicted relative reductions in the sum
of squares\n are at most 0.000000'
nfev: 80
qtf: array([ 2.20173903e-08,  1.70594294e-09, -1.72615602e-03])
status: 1
success: True
x: array([0.07078293, 0.00052324, 0.46274497])
```

MatLab:

```
function f = fun( t )
    f(1)=
    (1/((sqrt(1+(2*0.1*2*pi*t(1))^2))*(sqrt(1+(2*0.1*2*pi*t(2))^2))*(sqrt(1+(2*0.1*2*pi*t(3))^2))))-0.861045;
    f(2)=
    (1/((sqrt(1+(2*0.01*2*pi*t(1))^2))*(sqrt(1+(2*0.01*2*pi*t(2))^2))*(sqrt(1+(2*0.01*2*pi*t(3))^2))))-1;
```

```

f(3)=
(1/((sqrt(1+(2*1*2*pi*t(1))^2))*(sqrt(1+(2*1*2*pi*t(2))^2))*(sqrt(1+
(2*1*2*pi*t(3))^2))))-0.126435;

>> [xr, fr, ex] = fsolve(@fun,[1, 0.4, 0.04],optimset('TolX',1.0e-
8))

```

Equation solved.

fsolve completed because the vector of function values is near zero as measured by the default value of the function tolerance, and the problem appears regular as measured by the gradient.

<stopping criteria details>

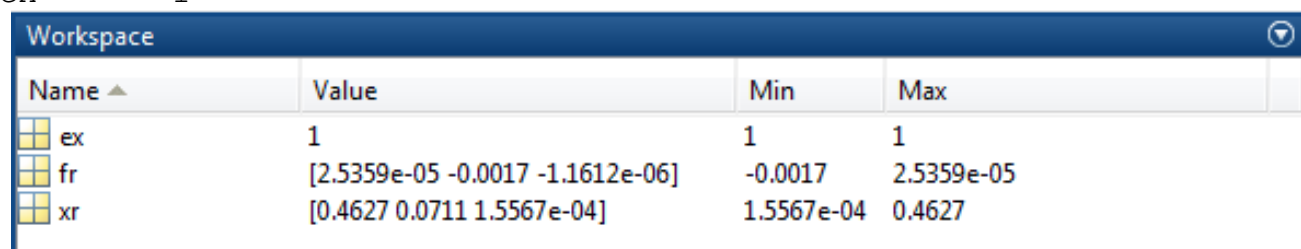
xr =

0.4627 0.0711 0.0002

fr =

0.0000 -0.0017 -0.0000

ex = 1



Name	Value	Min	Max
ex	1	1	1
fr	[2.5359e-05 -0.0017 -1.1612e-06]	-0.0017	2.5359e-05
xr	[0.4627 0.0711 1.5567e-04]	1.5567e-04	0.4627

Рисунок 33.– Сталі часу, знайдені у ПЗ MatLab

Виконання в математичному пакеті Mathcad:

Given

$t1 := 0.5 \quad t2 := 1 \quad t3 := 1$

$w1 := 2 \cdot 0.01 \cdot 2 \cdot \pi$

$w2 := 2 \cdot 0.1 \cdot 2 \cdot \pi$

$w3 := 2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot \pi$

$$\begin{aligned}
 1 &= \frac{1}{\sqrt{1 + (w1 \cdot t1)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (w1 \cdot t2)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (w1 \cdot t3)^2}} \\
 0.861045 &= \frac{1}{\sqrt{1 + (w2 \cdot t1)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (w2 \cdot t2)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (w2 \cdot t3)^2}} \\
 0.126435 &= \frac{1}{\sqrt{1 + (w3 \cdot t1)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (w3 \cdot t2)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (w3 \cdot t3)^2}}
 \end{aligned}$$

$$\text{Minerr}(t_1, t_2, t_3) = \begin{pmatrix} 3.813899 \times 10^{-6} \\ 0.071058 \\ 0.462679 \end{pmatrix}$$

2.5. Висновок

В даному розділі було розглянуто програмне забезпечення для визначення динамічних характеристик розроблене в LabView з додатковим описом функціональних блоків. Також розглянуто декілька програм з можливістю розв'язку нелінійних рівнянь з декількома невідомими за допомогою різних методів, а саме Python, Mathcad та MatLab. Прийнято рішення подальшу обробку даних та знаходження постійних часу виконувати за допомогою Jupyter Notebook – платформи для роботи з мовою програмування Python.

3. Розрахунок невизначеності експериментально-отриманих коефіцієнтів та порівняння коефіцієнтів запропонованої моделі за даними вимірюваних значень перехідної характеристики та АФЧХ

3.1. Експериментальне визначення порядку моделі за перехідною характеристикою

Оскільки в реальному термоперетворювачі невідома можлива кількість сталих часу, то запропоновано визначити їх експериментальним шляхом послідовно збільшуючи кількість аперіодичних ланок збільшуючи одночасно кількість рівнянь в системі.

Так, як до складу термоперетворювача входять три RC - ланки: нагрівач, напівпровідна бусинка та сама термопара, то ми можемо вважати, що наш термоперетворювач має три постійні часу. Для перевірки цього було розраховано рівняння, яке містить одну постійну часу та за допомогою програмного забезпечення Python знайдено цю постійну часу. Приклад програмного коду та розв'язку наведено нижче.

Для можливості відображення графіку перехідної характеристики та використання математичних операцій було імпортовано відповідні бібліотеки:

```
import numpy as np
import pandas as pd
import stepmodel2 as sm
import tools
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit
from scipy.optimize import fsolve
```

Для знаходження постійної часу було створено функцію, яка повертає значення сталої часу при підстановці часу та значення перехідної характеристики в визначений час:

```
def func1(tau):
    a = tau
    t = [0.3]
```

```
h = [0.4029444825497855]
return 1.0-np.exp(-a*t) - h[0]
t = fsolve(func1, (0.05))
1/t[0]
```

Отримуємо таку постійну часу: [0.5816826100218724]

Далі проводимо аналогічні дії, тільки покладемо в модельне рівняння дві постійні часу

Відповідно, при знаходженні постійних часу використовуємо нижче вказаний програмний код:

```
from scipy.optimize import fsolve
def func1(tau):
    a,b = tau
    t = [0.3, 0.7]
    h = [0.4029444825497855, 0.7490552424750068]
    return ( 1.0+np.exp(-a*t[0])*(b)/(a-b)- h[0],
            1.0+np.exp(-b*t[1])*(a)/(b-a)- h[1] )
t = fsolve(func1, (2, 2.5))
1/t[0], 1/t[1]
```

Отримуємо такі постійні часу: [0.4651226534055622,0.05561292529338936]

Можемо зробити перевірку, якщо відношення знайдених постійних часу більше 5%, то можемо прийняти те, що наша модель має дві постійні часу, та виконувати перевірку далі на наявність більшої їх кількості, якщо ні, то зупиняємося. Перевірку виконуємо за формулою (3.1):

$$\frac{\tau_1 - \tau_1'}{\tau_1} \times 100\% = 20,038 > 5\% \quad (3.1)$$

Закладаємо до моделі наявність трьох постійних часу:

```
from scipy.optimize import fsolve
def func1(tau):
    a,b,c =tau
    t = [0.3, 0.7, 2]
    h = [0.4029444825497855, 0.7490552424750068, 0.985475530743097]
    return ( (1.0-np.exp(-a*t[0])*(b*c)/((a-b)*(a-c))-np.exp(-b*t[0])*(a*c)/((b-a)*(b-c))-np.exp(-
c*t[0])*(a*b)/((c-a)*(c-b))-h[0]),
```

```
(1.0-np.exp(-a*t[1])*(b*c)/((a-b)*(a-c))-np.exp(-b*t[1])*(a*c)/((b-a)*(b-c))-np.exp(-
c*t[1])*(a*b)/((c-a)*(c-b)) - h[1]),
```

```
(1.0-np.exp(-a*t[2])*(b*c)/((a-b)*(a-c))-np.exp(-b*t[2])*(a*c)/((b-a)*(b-c))-np.exp(-
c*t[2])*(a*b)/((c-a)*(c-b)) - h[2]) )
```

```
t = fsolve(func1, (0.2, 2.5, 0.01))
```

```
1/t[0],1/t[1],1/t[2]
```

Отримуємо такі постійні часу: [0.05904910528189375, 7.47726679321233e-05, 0.4604257433368636]

Перевірку виконуємо за формулами (3.2):

$$\dots\dots\dots \frac{\tau_1' - \tau_1''}{\tau_1} \times 100\% = 1,01 < 5\%, \quad (3.2)$$

Отже на цьому можемо зупинитися, та зробити висновок, що термоперетворювач має три постійні часу.

3.2. Експериментальне визначення порядку моделі за амплітудно-фазо-частотною характеристикою

Для перевірки порядку моделі (кількості постійних часу) амплітудно-фазо-частотної характеристики було визначено відношення вихідного сигналу до вхідного. Отримане відношення використовується при розв'язку рівняння з відповідною кількістю невідомих постійних часу, та за допомогою програмного забезпечення Python знайдено цю постійну часу. Приклад програмного коду та розв'язку наведено нижче.

Знаходження постійної часу:

```
def f(t):
    t1 = t
    w1 = 2*0.5*2*np.pi
    return (((1/(np.sqrt(1+(w1*t1)**2))))-0.292207)
```

```
t = fsolve(f, (1))
```

```
print (t)
```

Отримуємо таку постійну часу: [0.52089321]

Далі проводимо аналогічні дії, тільки покладемо в модельне рівняння дві постійні часу

Відповідно, при знаходженні постійних часу використовуємо нижче вказаний програмний код:


```
def f(t):
    t1,t2 = t
    w1 = 2*0.1*2*np.pi
    w2 = 2*0.5*2*np.pi
    return (((1/(np.sqrt(1+(w1*t1)**2)))*(1/(np.sqrt(1+(w1*t2)**2))))-0.861045,
            ((1/(np.sqrt(1+(w2*t1)**2)))*(1/(np.sqrt(1+(w2*t2)**2))))-0.292207)
```

```
t = fsolve(f, (0.8, 0.06))
```

```
print (t)
```

Отримуємо такі постійні часу: [0.46099465; 0.07914272]

Перевірку виконуємо за формулою (3.3):

$$\dots\dots\dots \frac{\tau_1 - \tau_1'}{\tau_1} \times 100\% = 11,5 > 5\% , \dots\dots\dots (3.3)$$

Так як результат $>5\%$, то закладемо до рівняння три постійні часу:

```
def f(t):
    t1,t2,t3 = t
    w1 = 2*0.1*2*np.pi
    w2 = 2*0.5*2*np.pi
    w3 = 2*1*2*np.pi
    return (((1/(np.sqrt(1+(w1*t1)**2)))*(1/(np.sqrt(1+(w1*t2)**2)))*(1/(np.sqrt(1+(w1*t3)**2))))-
0.861045,
            ((1/(np.sqrt(1+(w2*t1)**2)))*(1/(np.sqrt(1+(w2*t2)**2)))*(1/(np.sqrt(1+(w2*t3)**2))))-
0.292207,
            ((1/(np.sqrt(1+(w3*t1)**2)))*(1/(np.sqrt(1+(w3*t2)**2)))*(1/(np.sqrt(1+(w3*t3)**2))))-
0.126435)
```

```
t = fsolve(f, (0.03, 0.06, 0.01))
```

```
print (t)
```

Отримуємо такі постійні часу: [0.00070375; 0.46564353; 0.07234448]

Перевірку виконуємо за формулою (3.4):

$$\dots\dots\dots \frac{\tau_1' - \tau_1''}{\tau_1} \times 100\% = 1 < 5\% , \dots\dots\dots (3.4)$$

Отже на цьому можемо зупинитися, та зробити висновок, що термоперетворювач має три постійні часу.

3.3. Оцінка невизначеності коефіцієнтів моделі

Слово невизначеність означає сумнів, і, таким чином, у широкому сенсі «невизначеність вимірювання» означає сумнів щодо достовірності результату вимірювання. Формальним визначенням поняття невизначеність є: невизначеність вимірювання – невід’ємний параметр, пов’язаний з результатом вимірювання,

який характеризує дисперсію значень, що можуть бути достатньо обґрунтовано приписані вимірюваній величині. Невизначеність вимірювання означає той факт, що для даної вимірюваної величини і для даного результату її вимірювання немає єдиного значення, а є нескінченне число значень, розсіяних навколо результату, який узгоджується з усіма спостереженнями та даними.

Всі невизначеності за способом оцінювання поділяються на тип А та тип В. Метою поділу на тип А та тип В є показ двох різних способів оцінювання компонентів невизначеності. Обидва типи оцінювання базуються на розподілах ймовірностей, і компоненти невизначеності кожного типу кількісно визначаються дисперсією або стандартним відхиленням.

За типом А оцінюються невизначеності, що підлягають повторним вимірюванням, до яких можна застосувати статистичні методи.

За типом В оцінюються невизначеності, до яких статистичні методи застосувати неможливо.

Оцінювання компонентів стандартної невизначеності за типом А засноване на розподілах частоти. Тому для її оцінювання необхідно провести n незалежних вимірювань величини в умовах повторюваності. Очікуваним значенням вимірюваної величини, що змінюється випадковим чином є середнє значення вимірів, вимірюваної величини, яке визначається за формулою 3.5. [10].

$$\bar{\tau} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \tau_k, \quad (3.5)$$

Експериментальне стандартне відхилення, що характеризує змінність вимірюваних значень визначається за формулою 3.6.

$$u_A(\tau) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (\tau_k - \bar{\tau})^2}{n-1}}, \quad (3.6)$$

Для оцінки невизначеності АЧХ було закладено різні набори частоти і отримано та розв'язано нелінійні рівняння та знайдено постійні часу термоперетворювача для кожного набору, таблиця 3.1.

Таблиця 3.1. Постійні часу визначені по
АФЧ характеристики для ТВБ–4

Частота, Гц	$\tau_{1,c}$	$\tau_{2,c}$	$\tau_{3,c}$
0.01; 0.1; 1	0.46274	0.070285	5.8e-05
0.01; 0.5; 2	0.49147	0.053108	17.04415e-05
0.03; 0.5; 2	0.48351	0.054128	7.023e-05
0.05; 0.5; 2	0.4833522	0.057848	54.015e-05
0.1; 0.5; 2	0.471898	0.064877	1.676e-05
0.5; 1; 2	0.48549	0.060002	3.479e-05
0.5; 1; 1.5	0.4821	0.062365	6.66e-05
0.5; 1; 5	0.474635	0.067537	4.499e-05
1; 2; 5	0.4705014	0.0649	3.66e-05

Відповідно для знаходження невизначеності було знайдено середнє значення кожної постійної часу (за формулою (3.5)), які рівні:

$$\tau_1 = 0,4784107, c$$

$$\tau_2 = 0,06167, c$$

$$\tau_3 = 0,0001154, c$$

Далі за формулою (3.6) знайдено невизначеності даних коефіцієнтів:

$$\sigma_{\tau_1} = 0,00901, c$$

$$\sigma_{\tau_2} = 0,0588, c$$

$$\sigma_{\tau_3} = 0,0001653, c$$

Для оцінки невизначеності перехідної характеристики, було проведено 10 вимірювань та знайдено за отриманими перехідними усереднену. Далі при закладанні різних наборів часу було знайдено три постійні часу для кожного набору.

Таблиця 3.2. Постійні часу визначені по
перехідній характеристиці для ТВБ–4

Час, с	$\tau_{1,c}$	$\tau_{2,c}$	$\tau_{3,c}$
0,3; 0,7; 2	0.4604196	0.05912	35.017e-05
0.3;0.7;1.5	0.452115	0.0650438	11.6107e-05
0.3;0.8;0.9	0.45868	0.0598865	4.4983e-05
0.3;0.9;1	0.457673	0.060167	25.216e-05
0.7;1.1;1.2	0.4558009	0.0639622	10.81863e-05
0.3;1.5;2	0.492263	0.043349	75.773e-05
0.7;1;1.8	0.4758356	0.036199	15.12e-05
0.9;1.2;1.3	0.4712558	0.032884	1.618e-05
0.8;1.1;1.4	0.452648	0.0685279	7.84e-05
1.2;1.4;2	0.4569784	0.0583132	12.585e-05

Відповідно для знаходження невизначеності було знайдено середнє значення кожної постійної часу (за формулою (3.5)), які рівні:

$$\tau_1 = 0,463367, \text{с}$$

$$\tau_2 = 0,0547453, \text{с}$$

$$\tau_3 = 0,0002001, \text{с}$$

Далі за формулою (3.6) знайдено невизначеності даних коефіцієнтів:

$$\sigma_{\tau_1} = 0,012716, \text{с}$$

$$\sigma_{\tau_2} = 0,0125628, \text{с}$$

$$\sigma_{\tau_3} = 0,0002192, \text{с}$$

Додатково було проведено визначення постійних часу та знайдено невизначеності коефіцієнтів для термоперетворювача науково-дослідного інституту приладобудування, Нижній Новгород, та для термоперетворювача ДТПТ-6, виробництво – Чернівецький інститут термоелектрики. Значення постійних часу отриманих з перехідної характеристики та АФЧХ вказані в таблицях (3.3. – 3.6.) відповідно.

Таблиця 3.3. Постійні часу визначені по
перехідній характеристиці для термоперетворювача
науково-дослідного інституту приладобудування, Нижній Новгород

Час, с	τ_1	τ_2	τ_3
0.02, 0.025, 0.03	0.023059	8.79935e-05	2.42139e-07
0.014, 0.025, 0.05	0.0230011	4.2575399e-05	2.049529e-07
0.02, 0.03, 0.04	0.022928	8.255948e-06	6.797904e-07
0.022, 0.029, 0.035	0.02424	1.900189e-05	1.459439e-06
0.025, 0.028, 0.035	0.0237778	5.4434033e-05	7.107873e-07
0.029, 0.035, 0.051	0.02459	9.327235e-05	6.450784e-05
0.03, 0.038, 0.049	0.024876	1.23338e-05	4.230105e-07
0.031, 0.039, 0.050	0.024957	4.439087e-05	7.766412e-07
0.035, 0.040, 0.055	0.0253238	3.278223e-05	2.005950e-06

Відповідно для знаходження невизначеності було знайдено середнє значення кожної постійної часу (за формулою (3.5)), які рівні:

$$\tau_1 = 0,0240836$$

$$\tau_2 = 4,38933e-05$$

$$\tau_3 = 7,89006e-06$$

Далі за формулою (3.6) знайдено невизначеності даних коефіцієнтів:

$$\sigma_{\tau_1} = 0,0009260$$

$$\sigma_{\tau_2} = 3,06294e-05$$

$$\sigma_{\tau_3} = 2,12397e-05$$

Таблиця 3.4. Постійні часу визначені по
АФЧ характеристики для термоперетворювача
науково-дослідного інституту приладобудування, Нижній Новгород

Частота, Гц	τ_1, c	τ_2, c	τ_3, c
20,40,68	1.964438e-02	3.490987e-06	1.721229e-07
0.2,20,50	2.01318e-02	8.44705e-06	5.69864e-06

0.2,10,40	2.32802e-02	1.32318e-06	1.88618e-07
2,30,68	2.351656e-02	1.187507e-05	1.24471e-06
4,8,30	2.47779e-02	1.5501e-05	8.31787e-07

Відповідно для знаходження невизначеності було знайдено середнє значення кожної постійної часу (за формулою (3.5)), які рівні:

$$\tau_1 = 0,0222702$$

$$\tau_2 = 8,12746e-06$$

$$\tau_3 = 1,6271756e-06$$

Далі за формулою (3.6) знайдено невизначеності даних коефіцієнтів:

$$\sigma_{\tau_1} = 0,00095402564081332$$

$$\sigma_{\tau_2} = 5,979487983355327e-06$$

$$\sigma_{\tau_3} = 1,919353063695544e-06$$

Таблиця 3.5. Постійні часу визначені по перехідній характеристиці для ДТПТ-6

Час, с	τ_1, c	τ_2, c	τ_3, c
0.1,0.2,0.3	0.0875463	9.394574e-05	5.774053e-06
0.15,0.2,0.3	0.086768	3.985676e-05	1.353378e-06
0.15,0.175,0.19	0.0886752	4.8957984e-05	2.835511e-05
0.16,0.18,0.2	0.08898	10.63515e-05	4.5199484e-06
0.15, 0.17, 0.2	0.088711	4.57152e-05	1.623419e-05
0.13, 0.17, 0.2	0.08837	3.26668e-05	2.564216e-05
0.1, 0.15, 0.2	0.08752	9.19467e-05	5.633236e-05
0.12,0.153, 0.21	0.087919	16.85e-05	5.52222e-05
0.125, 0.163, 0.22	0.08827	3.36669e-06	8.51974e-07

Відповідно для знаходження невизначеності було знайдено середнє значення кожної постійної часу (за формулою (3.5)), які рівні:

$$\tau_1 = 0,0880844, c$$

$$\tau_2 = 7,0145264e-05, \text{с}$$

$$\tau_3 = 2,15873e-05, \text{с}$$

Далі за формулою (3.6) знайдено невизначеності даних коефіцієнтів:

$$\sigma_{\tau_1} = 0,00070959, \text{с}$$

$$\sigma_{\tau_2} = 4,981647e-05, \text{с}$$

$$\sigma_{\tau_3} = 2,1823568e-05, \text{с}$$

Таблиця 3.6. Постійні часу визначені по
АФЧ характеристики для ДТПТ-6

Частота, Гц	$\tau_1, \text{с}$	$\tau_2, \text{с}$	$\tau_3, \text{с}$
1,3,8	8.37274366e-02	9.25181592e-06	2.41243509e-06
1,2,10	8.53151043e-02	8.26908492e-06	6.02013911e-06
3,8,20	8.30685401e-02	1.82369080e-05	2.25857240e-06
2,10,20	8.47712018e-02	1.58910334e-06	1.34776058e-06
3,10,20	8.33771361e-02	7.52318784e-06	1.43256145e-06

Відповідно для знаходження невизначеності було знайдено середнє значення кожної постійної часу (за формулою (3.5)), які рівні:

$$\tau_1 = 0,08405188377999999, \text{с}$$

$$\tau_2 = 8,974020003999998e-06, \text{с}$$

$$\tau_3 = 2,694293726e-06, \text{с}$$

Далі за формулою (3.6) знайдено невизначеності даних коефіцієнтів:

$$\sigma_{\tau_1} = 0,00095402564081332, \text{с}$$

$$\sigma_{\tau_2} = 5,979487983355327e-06, \text{с}$$

$$\sigma_{\tau_3} = 1,919353063695544e-06, \text{с}$$

3.4. Розрахунок похибок системи для визначення динамічних характеристик засобів вимірювальної техніки

До похибок визначення динамічних характеристик відноситься похибка визначення коефіцієнта перетворення. Коефіцієнт перетворення, який ми отримуємо, та використовуємо в подальших розрахунках, рівний відношенню середньоквадратичного значення вихідної напруги (ЕРС) до середньоквадратичного значення квадрату вхідної напруги:

$$K = \frac{E}{U^2}, \quad (3.7)$$

Для отримання відносної стандартної похибки було проведено вимірювання десяти значень ЕРС та вхідної напруги та відповідно отримано десять значень коефіцієнту перетворення.

Похибку визначення коефіцієнта перетворення було визначено за формулою:

$$\delta_K = \frac{\sigma}{\bar{K}}, \quad (3.8)$$

де σ – середньо-квадратичне значення коефіцієнту перетворення;

\bar{K} – середнє значення коефіцієнту перетворення.

Оскільки аналітично не має можливості розрахувати вплив похибок визначення коефіцієнту перетворення на знаходження постійних часу тому було проведено розрахунок за нижче приведеним алгоритмом:

- 1). Знайдено масив значень K – коефіцієнт перетворення;
- 2). Знайдено середнє значення K ;
- 3). Розраховано СКВ коефіцієнт перетворення за формулою (3.9);

$$\sigma_K(K) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K})^2}{n-1}}, \quad (3.9)$$

- 4). Знайдено відносну похибку визначення K на різних частотах (дані приведені в таблицях (3.7, 3.8, 3.9)) за формулою (3.8)

Визначення похибок виконувалось для значень, знятих з термоперетворювача ДТПТ-6, виробництва інституту термоелектрики, міста Чернівці. Для визначення впливу похибки коефіцієнта перетворення на формування постійних часу було проведено вимірювання на різних частотах та отримано набір середніх значень коефіцієнта перетворення, похибок їх отримання

та межах в яких цей коефіцієнт може знаходитись. Дані відображено в таблицях 3.7, 3.8 та 3.9.

Таблиця 3.7. Частоти ,середні значення коефіцієнта перетворення, похибки коефіцієнта перетворення

Частота, Гц	\bar{K}	δ_K	$\bar{K} + \delta_K$	$\bar{K} - \delta_K$
1	0,64949126	$3.67 \cdot 10^{-5}$	0,64952796	0,64945456
5	0,189823	0,0006236	0,1904466	0,1891994
10	0,0911768	0,000175	0,0913518	0,0910018

Таблиця 3.8. Частоти ,середні значення коефіцієнта перетворення, похибки коефіцієнта перетворення

Частота, Гц	\bar{K}	δ_K	$\bar{K} + \delta_K$	$\bar{K} - \delta_K$
0,5	0,64949126	$3.67 \cdot 10^{-5}$	0,64952796	0,64945456
1,5	0,189823	0,0006236	0,1904466	0,1891994
4	0,0911768	0,000175	0,0913518	0,0910018

Таблиця 3.9. Частоти ,середні значення коефіцієнта перетворення, похибки коефіцієнта перетворення

Частота, Гц	\bar{K}	δ_K	$\bar{K} + \delta_K$	$\bar{K} - \delta_K$
0,5	0,64949126	$3.67 \cdot 10^{-5}$	0,64952796	0,64945456
1	0,189823	0,0006236	0,1904466	0,1891994
4	0,0911768	0,000175	0,0913518	0,0910018

Постійні часу отримані при розв'язанні нелінійних рівнянь на різних частотах, та отримані при врахуванні похибок на коефіцієнт перетворення, відображені нижче. Також проводився розрахунок впливу отриманих коефіцієнтів на постійні часу. Було використано формулу (3.10).

$$\frac{(\tau_i(\bar{K}) \pm \delta) - \tau_i(\bar{K})}{\tau_i(\bar{K})}, \quad (3.10)$$

Отримані значення вказані в нижче приведених таблицях.

\bar{K}	$\bar{K} + \delta_K$	Абсолютне значення похибки постійної часу	(відно сна похибка) $+\delta_K, \%$	$\bar{K} - \delta_K$	Абсолютне значення похибки постійної часу	(відно сна похибка) $-\delta_K, \%$
$\tau_1 = 9,098 \cdot 10^{-2}, \text{с}$	$\tau_1 = 9,0932 \cdot 10^{-2}$	$5.48543\text{e-}05, \text{с}$	0,06	$\tau_1 = 9,0965 \cdot 10^{-2}$	$2.18493\text{e-}05, \text{с}$	0,024
$\tau_2 = 18,12 \cdot 10^{-6}, \text{с}$	$\tau_2 = 6,002 \cdot 10^{-6}$	$1.21236\text{e-}05, \text{с}$	66,88	$\tau_2 = 7,447 \cdot 10^{-6}$	$1.0679156\text{e-}05, \text{с}$	28,91
$\tau_3 = 6,796 \cdot 10^{-6}, \text{с}$	$\tau_3 = 4,69018 \cdot 10^{-6}$	$2.1067692\text{e-}06, \text{с}$	30,99	$\tau_3 = 0,26393 \cdot 10^{-6}$	$6.5330\text{e-}06, \text{с}$	96,12

\bar{K}	$\bar{K} + \delta_K$	Абсолютне значення похибки постійної часу	(віднос на похибка) $+\delta_K, \%$	$\bar{K} - \delta_K$	Абсолютне значення похибки постійної часу	(віднос на похибка) $-\delta_K, \%$
$\tau_1 = 9,069 \cdot 10^{-2}, \text{с}$	$\tau_1 = 9,0666 \cdot 10^{-2}, \text{с}$	$2.52149\text{e-}05, \text{с}$	0,0278	$\tau_1 = 9,0697 \cdot 10^{-2}, \text{с}$	$5.5306\text{e-}06, \text{с}$	$6,09 \cdot 10^{-3}$
$\tau_2 = 11,29 \cdot 10^{-6}, \text{с}$	$\tau_2 = 32,9448 \cdot 10^{-6}, \text{с}$	$2.165446\text{e-}05, \text{с}$	191,79	$\tau_2 = 27,718 \cdot 10^{-6}, \text{с}$	$1.64279194\text{e-}05, \text{с}$	145,5
$\tau_3 = 5,348 \cdot 10^{-6}, \text{с}$	$\tau_3 = 22,708 \cdot 10^{-6}$	$1.736031\text{e-}05, \text{с}$	324,587	$\tau_3 = 9,1533 \cdot 10^{-6}, \text{с}$	$3.804856\text{e-}06, \text{с}$	71,14

\bar{K}	$\bar{K} + \delta_K$	Абсолютне значення похибки постійної часу	(віднос на похибка) $+\delta_K, \%$	$\bar{K} - \delta_K$	Абсолютне значення похибки постійної часу	(віднос на похибка) $-\delta_K, \%$
$\tau_1 = 9,309 \cdot 10^{-2}, \text{с}$	$\tau_1 = 9,306 \cdot 10^{-2}, \text{с}$	$1.8711\text{e-}05, \text{с}$	0,02	$\tau_1 = 9,3097 \cdot 10^{-2}, \text{с}$	$8.3142\text{e-}06, \text{с}$	$8,93 \cdot 10^{-3}$

$\tau_2 = 22,52 \cdot 10^{-6}, \text{с}$	$\tau_2 = 7,376 \cdot 10^{-6}, \text{с}$	$1.5145152\text{e-}05, \text{с}$	67	$\tau_2 = 12,852 \cdot 10^{-6}$	$9.6695063\text{e-}06, \text{с}$	42,93
$\tau_3 = 15,38 \cdot 10^{-6}, \text{с}$	$\tau_3 = 4,571 \cdot 10^{-6}, \text{с}$	$1.081425\text{e-}05, \text{с}$	70,3	$\tau_3 = 4,0556 \cdot 10^{-6}, \text{с}$	$1.13296541\text{e-}05, \text{с}$	73,64

3.5. Висновок

В даному розділі проведено експериментальне визначення порядку моделі за перехідною характеристикою та амплітудно-фазо-частотною характеристикою, обраховано невизначеність знаходження постійних часу термоперетворювача, Розглянуто алгоритм визначення впливу похибок коефіцієнту перетворення на визначення постійних часу термоелектричного перетворювача., значення похибок визначено в абсолютних та відносних величинах.

4. АНАЛІЗ ТА РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1. Опис ідеї вимірювання динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки

Ринок інформаційних технологій розвивається дуже швидко. З кожним роком спектр програмних продуктів, що пропонується споживачу, збільшується. Вимірювання динамічних характеристик не має масового попиту, та використовується в розробці еталонів, наукових лабораторіях, центрах досліджень та ін. Тому розробка програмного забезпечення для визначення динамічних характеристик не буде достатньо прибутковою.

З'явилась ідея створити підприємство, що буде займатися наданням певного спектру послуг, у тому числі розробкою програмного забезпечення для вимірювання динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки, підтримкою продукції та іншими послугами.

Спектр послуг підприємства «Автовимір»:

- ремонт вимірювальних приладів (ВП);
- технічне обслуговування ВП;
- підготовка ВП до повірки в ДП «Стандартметрологія»;
- розробка та встановлення ПЗ для управління ВП та автоматизованого вимірювання фізичних величин;
- розробка та встановлення системи для визначення динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки
- розробка програмного забезпечення для вимірювання динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки;
- встановлення ПЗ, що розроблено підприємством «Автовимір»;
- встановлення ПЗ інших виробників з відповідною ліцензією.

Підприємство «Автовимір» може надавати спектр послуг таким видам приладів:

- осцилограф:
 - універсальний

- швидкісний
- стробоскопічний
- запам'ятовуючий
- спеціальний

– калібратор:

- калібратори напруги та сили струму — для повірки вольтметрів, амперметрів, перетворювачів електричного сигналу;
- калібратори електричного опору, ємності, індуктивності — для повірки омметрів;
- калібратори частоти — джерела електричного сигналу прецезійної частоти;
- калібратори осцилографів — імпульсні генератори, прецезійні за амплітудою та частотою. Такий пристрій зазвичай вбудований в осцилограф и необхідний для його градуювання по горизонтальному і вертикальному відхиленню перед початком роботи;
- калібратори температури та тиску — для повірки термометрів, манометрів, барометрів.

– частотоміри:

- частотомір безпосереднього оцінювання (аналоговий);
- частотомір порівняння (резонансний, гетеродинний, електронно-лічильний).

– мультиметри;

– генератори.

У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї, перераховано спектр послуг та вигода для користувача від кожної можливо-отриманої послуги.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап проекту [14]

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Ідея полягає у створенні підприємства, що буде займатися наданням спектру послуг, у тому числі розробкою програмного	Ремонт вимірювальних приладів	Ціна, якість, швидкість виконання. Широкий спектр вибору складових приладу, які необхідно замінити (за ціною,

забезпечення для вимірювання динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки та іншими послугами.		країною виробником).
	технічне обслуговування ВП.	Ціна, якість.
	підготовка ВП до повірки в ДП «Стандартметрологія».	Швидкість виконання.
	розробка та встановлення ПЗ для управління ВП та автоматизованого вимірювання фізичних величин.	Якість, швидкість виконання.
	розробка та встановлення системи для визначення динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки.	Якість, швидкість виконання.
	розробка програмного забезпечення для вимірювання динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки;	Ціна.

Отже, підприємство «Автовимір» може обслуговувати більший спектр вимірювальних приладів та додатково надає програмне забезпечення для ВП.

Далі проводимо аналіз техніко-економічних переваг ідеї порівняно із конкурентами:

- визначаємо перелік техніко-економічних характеристик ідеї;
- визначаємо конкурентів, що вже існують на ринку, та проводимо оцінку їх діяльності у порівнянні з нашою відповідно до характеристик, що наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту [14]

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		«Автовимір»	Фірма «Energiu»	Сервісний центр «Masteram»			
1.	Спектр послуг	14	6	10	-	-	+
2.	Вартість послуг	93%	100%	105%	-	-	+
3.	Точність вимірювання динамічних	95%	-	-	-	-	+

	характеристик						
4.	Торгова марка	Назва та знак не достатньо сформовані для ідентифікації продукції	Знак не дає можливості ідентифікувати продукцію	Назва та знак дозволяють ідентифікувати продукцію	-	+	-

Висновок: переваги нашого підприємства відображаються в наступних характеристиках: спектр та вартість послуг, точність вимірювання динамічних характеристик. Назва та знак не достатньо сформовані для ідентифікації продукції, що потребує подальшого доопрацювання.

4.2. Аналіз конкурентоспроможності

Підприємство «Автовимір» надає послуги з обслуговування вимірювальних приладів та розробки програмного забезпечення для ВП. В нашому місті існує два підприємства, які надають послуги по обслуговуванню ВП. Підприємство «Автовимір» є конкурентоспроможним, оскільки може обслуговувати більший спектр вимірювальних приладів та додатково надає програмне забезпечення для ВП.

Оскільки конкуренція впливає на успіх та стабільність роботи підприємства, необхідним є ступеневий аналіз конкуренції на ринку, який продемонстрований в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку [14]

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - чиста	На ринку існує декілька подібних підприємств	За для збереження конкуренції можливе зниження цін
2. За рівнем конкурентної боротьби	Конкуренція відбувається в межах міста.	

- локальний		
3. За галузевою ознакою - міжгалузева	Стосується всіх галузей, в яких застосовуються вимірювальні пристрої.	Можливе обрання певного спектру послуг за для отримання скоріших результатів.
4. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	Зазвичай цінова, будь який ремонт вимірювальних приладів є затратним.	Зниження ціни, використання різних постачальників складових для приладів.

Отже для підтримки нашої конкурентоспроможності необхідним є гнучкість цінової політики. У разі появи вигідного клієнта можливе обрання певного спектру послуг для отримання скоріших результатів.

Для кожного підприємства необхідна розробка успішної стратегії, яка забезпечить переваги над конкурентами і закріпить позиції перед покупцями [11]. Розглянемо таблицю 4.4, в якій вказано конкуренцію в галузі за М. Портером.

Таблиця 4.4. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером [14]

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Фірма «Energiy», Сервісний центр «Masteram»	Фірма в інших містах, а також новостворені фірми	Достатньо високий вплив постачальників, оскільки наші послуги залежать від якості та ціни запчастин.	Достатньо високий вплив, оскільки кількість клієнтів впливає на величину прибутку підприємства, а отже стабільність його роботи.	Вплив не високий, але треба враховувати, що клієнти можуть придбати нову та більш якісну техніку.
Висновки :	Інтенсивність конкуренції середня, оскільки сегменти ринку поділені приблизно	Перспективи є за рахунок здешевлення послуг.	Необхідно мати декілька постачальників на випадок підняття цін чи припинення роботи одного з них.	Потрібно постійно вдосконалювати маркетингову програму для залучення більшої кількості	Вплив цього фактору можна зменшити за рахунок зниження ціни на послуги чи розширення спектру послуг (продаж

	порівну.			клієнтів.	приладів).
--	----------	--	--	-----------	------------

Висновок: згідно з аналізом за М. Портером, присутній високий вплив

- постачальників, оскільки наші послуги залежать від якості та ціни запчастин;
- з боку клієнта, оскільки кількість клієнтів впливає на величину прибутку підприємства.

Наше підприємство не чекає жорсткої конкуренції з наступних причин:

- фірми не прагнуть активного розширення спектру послуг;
- тільки підприємство «Автовимір» надає послуги по підготовці ВП (частотомір, осцилограф, калібратор, мультиметр, генератор) до повірки;
- наше підприємство надає послуги по підготовці ВП до повірки за нижчою ціною;
- лише підприємство «Автовимір» надає послуги по ПЗ для ВП;
- тільки ми надаємо послуги по ремонту всіх типів осцилографів;
- підприємство надає грамотні консультації з питань, які виникають у клієнтів.

Крім того, інші підприємства не надають особливого значення рекламній політиці, що негативно впливає на їх клієнтську базу.

Допускається виїзд до замовника за додаткову плату.

Розробка та установка програмного забезпечення є важливою послугою, так як далеко не кожен користувач в змозі грамотно встановити і (або) налаштувати те чи інше ПЗ. Ми пропонуємо рішення даної проблеми фахівцями за невисоку плату. Можлива як установка програмного забезпечення замовника, так і нашого. Вартість послуги зростає на ціну ліцензії, якщо необхідне програмне забезпечення не є безкоштовним.

Для стабільної роботи підприємства необхідним є підтримка факторів конкурентоспроможності, які розглянуті в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів
----------	----------------------------------	--

		значущим)
1	Ціна	Менша ціна, яка є результатом використання більш дешевих компонентів.
2	Якість	Забезпечення якості за рахунок підвищення кваліфікації працівників підприємства.
3	Термін виконання	За рахунок правильно побудованого менеджменту та кваліфікації персоналу термін виконання є оптимальним (якщо один працівник буде виконувати декілька операцій, то це буде потребувати більшого терміну виконання замовлення).

Якщо розглянути конкурентоспроможність пропонованих послуг за допомогою бальної системи оцінок та порівняти їх з послугами конкурентів, то ми отримаємо дані, які вказані у нижче запропонованих таблицях. Кожну послугу ми будемо оцінювати за трьома критеріями: ціна, якість і термін виконання. Додавання додаткових критеріїв не має сенсу, так як вони будуть відображати чисто технічні параметри, які не мають для кінцевого клієнта практичного значення. За кожним критерієм можливе отримання однієї з наступних п'яти оцінок: відмінно (5), добре (4 бали), задовільно (3), погано (2 бали) і дуже погано (1 бал). Критерії є нерівнозначними, тому використовуються вагові коефіцієнти.

Таблиця 4.6. Оцінка конкурентоспроможності підприємства «Автовимір»

у сфері ремонту ВП та їх технічного обслуговування

Критерій	Коеф.	«Автовимір»	Фірма №1	Фірма №2
Ціна	0.3	5	4	1
Якість	0.5	5	3	2
Термін виконання	0.2	5	5	3
Підсумок	1	5	3.7	1.9

Таблиця 4.7. Конкурентоспроможність підприємства «Автовимір»

у сфері розробки та встановлення ПЗ

Критерій	Коеф.	«Автовимір»	Фірма №1	Фірма №2
Ціна	0.2	5	3	3
Якість	0.7	5	4	3
Термін виконання	0.1	5	2	3

Підсумок	1	5	3.6	3
-----------------	----------	----------	------------	----------

Як видно з вищенаведених таблиць можна зробити висновок, що підприємство «Автовимір» є конкурентоспроможним як у сфері ремонту ВП та їх технічного обслуговування, так і у сфері розробки та встановлення ПЗ. По всіх параметрах наше підприємство лідирує, що є хорошим досягненням.

4.3. Оцінка ринку збуту послуги по встановленню системи для визначення динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки та розробка програмного забезпечення для її функціонування

Послуги, що надаються підприємством «Автовимір», спрямовані на споживчий ринок. Деякі послуги такі, як встановлення системи та ПЗ, їх налаштування, підтримка, обслуговування повинні зацікавити різноманітні установи, як державні так і приватні. На початок діяльності нашого підприємства основними клієнтами будуть науково-дослідні лабораторії, технічні університети, виробничі підприємства. Одним з варіантів співпраці з організаціями буде підписання договорів на обслуговування системи для визначення динамічних характеристик.

Для успішної роботи підприємства необхідно зробити попередню характеристику потенційного ринку стартап-проекту, що наведена в таблиці 4.8, та характеристику потенційних клієнтів (таблиця 4.9).

Таблиця 4.8. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Більше за 100 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	висока конкуренція
5	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	40-68%

Таблиця 4.9. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до послуги
1	Базова потреба, яка задовольняється це швидкий та якісний ремонт за невелику ціну	Науково-дослідні лабораторії, технічні університети, виробничі підприємства.	Основним фактором, що є найбільш вагомим є якість отриманого продукту. Наявність гарантій, та сервісу підтримки.	Наявність відповідного рівня фахівців для роботи з приладами.

Для залучення більшої кількості клієнтів нам необхідно встановити невисокі ціни і намагатися отримати прибуток за рахунок більшої кількості продажів своїх послуг. Виходячи з цього, був складений наступний список цін на послуги:

– Встановлення системи для визначення динамічних характеристик.

Розцінка на цю послугу встановлюються фахівцем після обговорення завдання з клієнтом. Планується встановлювати ціну нижче, ніж у конкурентів.

– Підтримка і обслуговування системи для визначення динамічних характеристик.

По цьому пункту неможливо встановити конкретну ціну, тому що вона буде залежати від складності обслуговування. Тут доцільно створити деталізований прейскурант, ціни в якому будуть нижчі, ніж у інших сервісах, що дозволить залучити більшу кількість клієнтів.

– Розробка ПЗ до системи для визначення динамічних характеристик.

Тут вартість послуги буде залежати від складу робіт. Для полегшення розрахунків буде створений прейскурант, деякі види робіт оцінить фахівець при виконанні.

Таблиця 4.10. Вартість послуг

№ п/п	Найменування послуги	Орієнтовна вартість роботи, грн
1	Встановлення системи для визначення динамічних	10000

	характеристик.	
2	Підтримка і обслуговування системи для визначення динамічних характеристик.	2500 (в місяць)
3	Розробка ПЗ до системи для визначення динамічних характеристик.	45000

Послуга по розробці ПЗ до системи для визначення динамічних характеристик має більшу ціну у зв'язку з тим, що:

- вимагає оплати роботи висококваліфікованих фахівців;
- виконання цієї послуги займає багато часу;
- виконання послуги на дороговартісному обладнанні.

4.4. Розроблення маркетингової програми

1. Вдосконалення виробництва. Підвищення якості послуг.

- Підвищення кваліфікації працівників (стажування в Україні та за кордоном, участь у наукових конференціях).
- Поступове поновлення обладнання.

2. Вдосконалення послуг.

- Впровадження системи моніторингу задоволеності клієнтів якістю послуг (тестування, зв'язок по телефону).

3. Інтенсифікація зусиль реалізації послуг впроваджується за рахунок здійснення реклами, а також комунікації з клієнтами.

Таблиця 4.11 демонструє можливі способи комунікації.

Таблиця 4.11. Концепція маркетингових комунікацій [14]

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Отримання послуги.	Інтернет.	Термін виконання роботи, якість, ціна.	Показати переваги даних послуг, та їх спектр	Встановлення бігбордів, розповсюдження рекламних листівок,

					інтернет-оголошення
--	--	--	--	--	---------------------

Ціни на всі види послуг підібрані таким чином, щоб вони були не вище, ніж у конкурентів і забезпечували отримання прибутку. В перший рік роботи підприємства необхідно надавати пріоритет збільшенню кількості клієнтів і вже потім величині прибутку. У попередньому розділі бізнес плану були запропоновані приблизні ціни на частину послуг.

Подібний підхід не годиться для остаточного затвердження цін на послуги, так як для цього необхідно розрахувати точні витрати на кожну з них.

У вартість послуг необхідно включити:

- вартість обладнання (амортизаційні відрахування);
- вартість реклами;
- вартість оренди приміщення;
- оплату праці персоналу;
- вартість комунальних послуг;
- вартість охорони приміщення.

Для цього слід визначити яке обладнання буде використовуватися, його вартість, термін експлуатації, вартість щорічного обслуговування, орендну плату за приміщення і таке інше. Ці дані наведені у таблиці 4.12.

Таблиця 4.12. Вартість обладнання

Найменування виробу	Ціна грн.	Термін експлуатації місяців	Ліквідаційна вартість грн.	Витрати на обслуговування в місяць грн.	Амортизаційні відрахування в місяць
Калібратор Н4-7	350000	120 місяців (10 років)	35000	100	2725
Термоперетворювач вакуумний ТВБ-4	46	12 місяців (1 рік)	0	0	4
Модуль РХІ-4461	180000	120 місяців (10 років)	18000	100	1450

		років)			
Мікро Омметр	180000	120 місяців (10 років)	18000	100	1450
Шасі РХІ	30000	120 місяців (10 років)	3000	100	325
Меблі	10000	120 місяців (10 років)	0	0	84
Всього	3900046	-	-	400	6042

За квартал амортизаційні відрахування складуть $6\,042 \text{ грн.} \times 3 = 18\,126 \text{ грн.}$
 Це буде враховано нижче (таблиця 4.13).

Важливе значення для збільшення кількості клієнтів має реклама.

Види реклами, що планується застосувати в перший рік роботи підприємства:

- розклеювання плакатів і листівок, які будуть інформувати потенційних клієнтів про місце знаходження, контактні дані, види послуг та інше (дошки для оголошень, в транспорті);
- інтернет-оголошення;
- розсилка оголошень на електронну пошту організаціям-потенційним клієнтам;
- реклама в газетах та інших друкованих виданнях.

Для роботи підприємства "Автовимір" необхідно орендувати приміщення загальною площею 20 - 30 квадратних метрів бажано в центрі міста. У приміщенні потрібно встановити столи, стільці, полиці. З техніки будуть потрібні 2 комп'ютери, принтер, ксерокс, факс.

Для безпечного функціонування підприємства знадобиться встановлення охорони приміщення.

У таблиці 4.13 наведено приблизні витрати на виробництво і реалізацію послуг.

Таблиця 4.13.

Приблизні витрати на виробництво і реалізацію послуг і програмних засобів

Найменування показника	1 квартал, грн.	2 квартал, грн.	3 квартал, грн.	4 квартал грн.
Амортизація ОФ	18126	18126	18126	18126
Витрати на рекламу	2000	2600	3000	5000
Матеріали	12000	20000	34000	60000
Плата за оренду	6000	6000	6000	6000
Оплата праці	20000	30000	40000	60000
Комунальні послуги	1600	1000	1000	1600
Охорона приміщення	500	500	500	500
Транспортні витрати	~0	600	1000	2000
Інші витрати	2000	4000	6000	7000
Всього	62226	82826	109626	160226

4.5. Розроблення організаційного плану діяльності підприємства «Автовимір»

На початку роботи підприємства послуги будуть здійснювати 5 робітників, що працюють постійно: директор, два метролога-програміста, інженер-електронник, бухгалтер-секретар.

Оскільки спектр послуг підприємства «Автовимір» достатньо великий, можна для виконання частини послуг залучати робітників-підрядників з відповідною кваліфікацією. А саме виконання таких послуг:

- ремонт вимірювальних приладів (ВП);
- встановлення ПЗ, що розроблено підприємством «Автовимір»;
- встановлення ПЗ інших виробників з відповідною ліцензією.

Для виконання тимчасової роботи можна набрати студентів старших курсів з відповідних спеціальностей.

Розподіл завдань і контроль над виконанням всіх робіт здійснює директор підприємства.

Юридичний план.

Що до організаційно-правової форми для "Автовимір" було обрано приватного підприємця. Вона проста з точки зору фінансового та податкового

обліку - приватного підприємця може самостійно вести облік своєї діяльності. При створенні юридичної особи (в тому числі акціонерного товариства або товариства з обмеженою відповідальністю) потрібні спеціальні навички для ведення обліку діяльності за встановленими правилами. Підприємець має право мати свою печатку, свій товарний знак, розрахунковий рахунок в банку, укласти угоди і підписувати договори, отримувати банківський кредит, використовувати в своїй діяльності працю інших громадян.

Оцінка ризиків і страхування.

Основним ризиком для діяльності підприємства "Автовимір" є малий обсяг грошового обороту. Щоб уникнути цього слід проводити перелік профілактичних заходів. Наприклад, розвивати рекламу, тримати ціни не вище, ніж у конкурентів, якісно виконувати послуги. Також великий ризик, пов'язаний зі зміною законодавства. На жаль, ефективних способів захисту від цього не існує. Крім того, слід допускати можливість пожежі, підтоплення, землетрусів, а також інших стихійних лих. Вірогідність таких ризиків є вкрай низькою. Тому на початку роботи підприємства не варто страхувати майно. Це можна буде зробити в майбутньому, коли підприємство буде отримувати стабільні прибутки.

Фінансовий план.

У таблиці 4.14 наведений прогноз обсягів продажів.

Таблиця 4.14. Прогноз обсягів продажів

	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал	2 рік
Виручка від реалізації послуг, грн.	90000	190000	240000	300000	1600000

У таблиці 4.15 наведені розраховані чисті доходи підприємства «Автовимір».

Таблиця 4.15. Показники чистих доходів

Показники	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал
Виручка від реалізації послуг, грн. (табл. 6.6)	90000	190000	240000	300000
Загальні виробничі	62226	82826	109626	160226

витрати, грн. (табл. 6.5)				
Валовий прибуток, грн.	27774	37174	60374	139774
Податок на прибуток % (ПДФО + ЄСП + військовий збір)	$18 + 22 + 1,5 = 41,5$	41,5	41,5	41,5
Чистий прибуток, грн.	16248	21747	35319	81768
Валовий прибуток до виручки %	30,86	30,98	35,5	46,6

Всі фізичні особи, які знаходяться на загальній системі оподаткування, повинні заплатити **18% від свого річного прибутку (ПДФО)**, якщо він є, **22% єдиного соціального внеску** та **1,5% військового збору**. Оплата здійснюється раз на місяць [12].

Розрахунки за I квартал:

1. $90000 - 62226 = 27774$ (грн.) валовий прибуток
2. $18 + 22 + 1,5 = 41,5$ (%) податок на прибуток
3. $100 - 41,5 = 58,5$ (%) чистий прибуток
4. $27774 \times 0,585 = 16248$ (грн.) чистий прибуток у грн.
5. $90000 - 100 \%$

$$\frac{27774}{x} = \frac{100}{x} \%$$

$$x = 27774 \cdot 100 : 90000 = 30,86 \text{ (%) валовий прибуток до виручки}$$

Розрахунки за II квартал:

1. $120000 - 82826 = 37174$ (грн.) валовий прибуток;
2. $18 + 22 + 1,5 = 41,5$ (%) податок на прибуток;
3. $100 - 41,5 = 58,5$ (%) чистий прибуток;
4. $37174 \times 0,585 = 21747$ (грн.) чистий прибуток у грн.
5. $120000 - 100 \%$

$$\frac{37174}{x} = \frac{100}{x} \%$$

$$x = 37174 \cdot 100 : 120000 = 30,98 \text{ (%) валовий прибуток до виручки.}$$

Розрахунки за III квартал:

1. $170000 - 109626 = 60374$ (грн.) валовий прибуток
2. $18 + 22 + 1,5 = 41,5$ (%) податок на прибуток
3. $100 - 41,5 = 58,5$ (%) чистий прибуток
4. $60374 \times 0,585 = 35319$ (грн.) чистий прибуток у грн.
5. $170000 - 100 \%$

$$\frac{60374}{x} = \frac{100}{x} \%$$

$$x = 60374 \cdot 100 : 170000 = 35,5 \text{ (\%)} \text{ валовий прибуток до виручки}$$

Розрахунки за IV квартал:

1. $300000 - 160226 = 139774$ (грн.) валовий прибуток
2. $18 + 22 + 1,5 = 41,5$ (%) податок на прибуток
3. $100 - 41,5 = 58,5$ (%) чистий прибуток
4. $139774 \times 0,585 = 81768$ (грн.) чистий прибуток у грн.
5. $300000 - 100 \%$

$$\frac{139774}{300000} = x \%$$

$$x = 139774 \cdot 100 : 300000 = 46,6 \text{ (\%)} \text{ валовий прибуток до виручки}$$

Річний чистий прибуток:

$$16248 + 21747 + 35319 + 81768 = 155082 \text{ (грн.)}$$

Організаційно-правовою формою фірми "Автовимір" є приватний підприємець. На початковому етапі для відкриття справи директор вносить 150000 гривень з особистих заощаджень, надалі на розвиток фірми йдуть гроші з прибутку.

4.6. Висновок

В даному розділі було розроблено та обґрунтовано бізнес-план (стартап-проект) з розрахунком основних фінансових характеристик бізнес проекту таких як витрати, прибуток, ризики. Так як на сьогоднішній день ринок інформаційних технологій розвивається дуже швидко – було прийнято рішення, що розробка програмного забезпечення для визначення динамічних характеристик не буде достатньо прибутковою. Було прийнято рішення заснувати підприємство, що буде займатися наданням певного спектру послуг, у тому числі розробкою програмного забезпечення для визначення динамічних характеристик, ремонтом вимірювальних приладів, їх технічним обслуговуванням та іншими необхідними кінцевому користувачу послугами. Описано юридичну організацію, необхідні вкладення для початку функціонування підприємства. Було визначено сильні, слабкі та нейтральні характеристики ідеї проекту, вказано характеристики потенційних клієнтів стартап-проекту, продемонстровано концепцію маркетингової комунікації.

Проведено аналіз конкурентоспроможності, розроблено маркетингову програму для ефективної реалізації послуг підприємства «Автовимір». Також була проведена оцінка ринку збуту послуги по встановленню системи для визначення динамічних характеристик елементів вимірювальної техніки та розробки програмного забезпечення для її функціонування, описані послуги, що буде надавати підприємство та оцінений прибуток, що очікується в кінці року.

ВИСНОВКИ ДО РОБОТИ

Метою даної роботи є дослідження динамічних характеристик термоперетворювачів та подальше забезпечення стійкості термоперетворювача ввімкнутого у схемі у зворотній зв'язок та визначення допускового коефіцієнту підсилення.

Перший розділ присвячений огляду теоретичних відомостей динамічних характеристик; опису приладів та структурних схем, які використовувались для отримання амплітудно-фазо-частотної характеристики та перехідної характеристики; наведено приклад лістингу для отримання постійних часу використовуючи перехідну характеристику.

В другому розділі було розглянуто програмне забезпечення для визначення динамічних характеристик розроблене в LabView з додатковим описом функціональних блоків. Також розглянуто декілька програм з можливістю розв'язку нелінійних рівнянь з декількома невідомими за допомогою різних методів, а саме Python, Mathcad та MatLab.

Отже, кінцеві рівняння, зі встановленими постійними часу для термоперетворювача ТВБ-4 через перехідну характеристику та амплітудно-фазо-частотну характеристику можна записати таким чином:

Перехідна характеристика:

$$h(t) = 1 - e^{\frac{t}{0,4634}} - e^{\frac{t}{0,0547}} - e^{\frac{t}{0,0002}}$$

Амплітудно-фазо-частотна характеристика:

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega * 0,4784)^2}} * \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega * 0,06167)^2}} * \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega * 0,000115)^2}}$$

Відповідно до отриманих значень постійних часу, розраховано допустимий коефіцієнт підсилення, якому не відбувається збудження схеми з термоперетворювачем у зворотній ланці.

Також було проведено аналіз похибок визначення динамічних характеристик, а саме похибки визначення коефіцієнта перетворення. Коефіцієнт перетворення, який ми отримуємо, та використовуємо розрахунках, рівний відношенню

середньоквадратичного значення вихідної напруги (EPC) до середньоквадратичного значення квадрату вхідної напруги. Продемонстровано алгоритм визначення впливу похибок коефіцієнту перетворення на визначення постійних часу термоелектричного перетворювача.

Останній розділ присвячений розробці та обґрунтуванню стартап-проекту з розрахунком основних фінансових характеристик бізнес проекту таких як витрати, прибуток, ризику. Так як на сьогоднішній день ринок інформаційних технологій розвивається дуже швидко – було прийнято рішення, що розробка програмного забезпечення для визначення динамічних характеристик не буде достатньо прибутковою. Було прийнято рішення заснувати підприємство, що буде займатися наданням певного спектру послуг, у тому числі розробкою програмного забезпечення для визначення динамічних характеристик, ремонтом вимірювальних приладів, їх технічним обслуговуванням та іншими необхідними кінцевому користувачу послугами. Описано юридичну організацію, необхідні вкладення для початку функціонування підприємства. Було визначено сильні, слабкі та нейтральні характеристики ідеї проекту, вказано характеристики потенційних клієнтів стартап-проекту, продемонстровано концепцію маркетингової комунікації. Проведено аналіз конкурентоспроможності, розроблено маркетингову програму для ефективної реалізації послуг підприємства «Автовимір». Також була проведена оцінка ринку збуту послуги, які будуть надаватись підприємством та очікуваний прибуток.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Туз Ю.М. Спосіб визначення динамічних характеристик термодатчиків за допомогою радіоімпульсу струму/ Ю.М. Туз, О.В. Козир, А.В. Порхун// Системи обробки інформації. – 2016. № 6.– С. 164-166
2. Захаров И. П. Метрологическая идентификация динамических характеристик средств измерительной техники : учебное пособие / И. П. Захаров, М. П. Сергиенко. — Х. : Компания СМИТ, 2012. —232 с.
3. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Синтез>
4. Звіт з науково-дослідної роботи ДБ №2040 «Методи підвищення точності відтворення одиниці електричної напруги для створення первинного державного еталона радіочастотного діапазону»
5. <https://poznayka.org/s83893t1.html>
6. http://search.ni.com/nisearch/app/main/p/bot/no/ap/global/lang/ru/pg/1/q/PXIe-8106/?i_n33_autoCompleteInput=0§ion_n33_autoCompleteInput=query&searchType_n33_autoCompleteInput=global-dropdown&separator_n33_autoCompleteInput=-1&value_n33_autoCompleteInput=PXIe-8106
7. <http://www.ni.com/ru-ru/shop/select/pxi-chassis?modelId=123036>
8. <https://www.ni.com/ru-ru/support/model.pxi-4461.html>
9. <https://uk.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>
10. Васілевський О. М. Основи теорії невизначеності вимірювань : підручник / О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський — Вінниця: ВНТУ, 2015. — 230 с.
11. <https://studopedia.org/7-6301.html>
12. <https://fakty.com.ua/ua/ukraine/20191021-yaki-podatky-povynni-platyty-fop/>
13. <https://helpiks.org/4-73986.html>
14. http://kaf-pe.kpi.ua/wp-content/uploads/2015/04/roz_startap_proektiv_met_vk.pdf

ДОДАТОК А. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ

XVIII Міжнародна науково-технічна конференція “ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи”, 15-16 травня 2019 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

УДК 621.383

СИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ РОЗМІРУ ОДИНИЦІ ЗМІННОЇ НАПРУГИ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ

Костелецький Д. В., Туз Ю. М.

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, Україна

Email: kosteletsky@ukr.net, tuz@aer.kpi.ua

Процес передачі розміру одиниці змінної напруги є досить складним завданням, тому що не має фізичного явища, яке б відтворювало середньоквадратичне значення напруги. Для реалізації цього процесу була досліджена система на основі методу термокомпарування. Дана система передбачає використання двох термоелектричних перетворювачів, один з яких використовується в якості опорного.

До складу системи входять: калібратор змінної напруги В1-29, який видає напругу до 3 В; ширококутовий високочастотний підсилювач з коефіцієнтом підсилення 10; нановольтметр НР34420А на 7,5 десяткових розрядів, що дозволяє мати необхідну чутливість при вимірюваннях термоелектрорушійної сили. Управління системою здійснюється через шину передачі даних IEEE488.2 та створеного програмного забезпечення VoltStandard.

При дослідженні системи використовувались термоперетворювачі на 10 В та на 30 В, які підключені до підсилювача паралельно. Опорною було взято напругу 10 В. Для запобігання перевантаження термопари, з калібратора на підсилювач напруги подається 1 В (після підсилення 10 В) відповідно до номінальної напруги термоперетворювача. За допомогою калібратора було встановлено діапазон частот (від 1 кГц до 40 МГц), на яких відбувалось вимірювання електрорушійних сил термоелектричних перетворювачів. Після отримання значень електрорушійних сил термоперетворювачів було обраховано похибку повіряемого відносно еталонного за формулою:

$$\gamma_{\Pi}(f_i) - \gamma_E(f_i) = 0.5 \cdot \left[\frac{E_E(f_k)}{E_{\Pi}(f_k)} \cdot \frac{E_{\Pi}(f_i)}{E_E(f_i)} - 1 \right],$$

де $E_E(f_k)$ і $E_{\Pi}(f_k)$ – електрорушійні сили еталонного термоперетворювача та термоперетворювача, що повіряється на частоті калібровки f_k ;

$E_E(f_i)$ і $E_{\Pi}(f_i)$ – електрорушійні сили еталонного термоперетворювача та термоперетворювача, що повіряється на частоті калібровки f_i .

В результаті дослідження було встановлено, що відхилення відносної похибки передачі одиниці змінної напруги було в межах від $\pm 0,001\%$ до $-1,50\%$ в діапазоні частот від 1 кГц до 40 МГц. Необхідне коригування частотної характеристики до значень похибки не більше 0,3 %.

Ключові слова: термоперетворювач, електрорушійна сила.

Список літератури:

- [1] Туз Ю.М. Похибки та невизначеність еталону одиниці електричної напруги від 0,001 до 1000 В змінного струму в діапазоні частот від 10 Гц до 30 МГц / Ю.М. Туз, М.В. Добролюбова, Ю.В. Артюхова // Системи обробки інформації. – 2009. № 5. – С. 112-115

Звіт з науково-дослідної роботи ДБ №2040 «Методи підвищення точності відтворення одиниці електричної напруги для створення первинного державного еталона радіочастотного діапазону»

Результати експериментальних досліджень динамічних характеристик термоелектричних перетворювачів

Експеримент по вимірюванню динамічних характеристик термоелектричних перетворювачів проводився за допомогою NI PXI, а саме формування вхідного сигналу та вимірювання вихідного сигналу.

Операторний метод, який використовувався у рівняннях орієнтований на лінійні системи. Так, як термоперетворювач є не лінійним, то було прийнято рішення в якості вхідного сигналу розглядати потужність, яка пропорційна квадрату напруги. Після цього залежність ЕРС запропоновано взяти, як лінійну відносно вхідної потужності. Оскільки ЕРС термоперетворювача відповідно до ефекту Зеєбека пропорційна різниці температур гарячого та холодного спаїв, а температура в усталеному режимі пропорційна підведеній потужності, тобто $P = \frac{U^2}{R}$, то в якості вхідного сигналу розглядається квадрат миттєвих значень напруги, який лінійно пов'язаний з ЕРС термоперетворювача.

Методологія визначення динамічних характеристик

За попередніми технічними даними вакуумні термоелектричні перетворювачі типу ТВБ (термоперетворювач вакуумний безконтактний) мають найбільшу сталу часу, приблизно 0,5 сек., невакуумні перетворювачі типу ДТПТ-6 мають найбільшу сталу часу близько 0,05 сек. В зв'язку з цим вхідний сигнал був сформований на початковій частоті 0,01 Гц, де практично відсутні частотні похибки.

Оскільки в термоелектричних перетворювачах уявні сталі часу обумовлені механізмом передачі температури від нагрівача через ізолюючий прошарок до термопари, то можна запропонувати модель розділеної системи у вигляді послідовно включених дискретно розташованих аперіодичних ланок, відповідно до еквівалентної схеми рис.1.

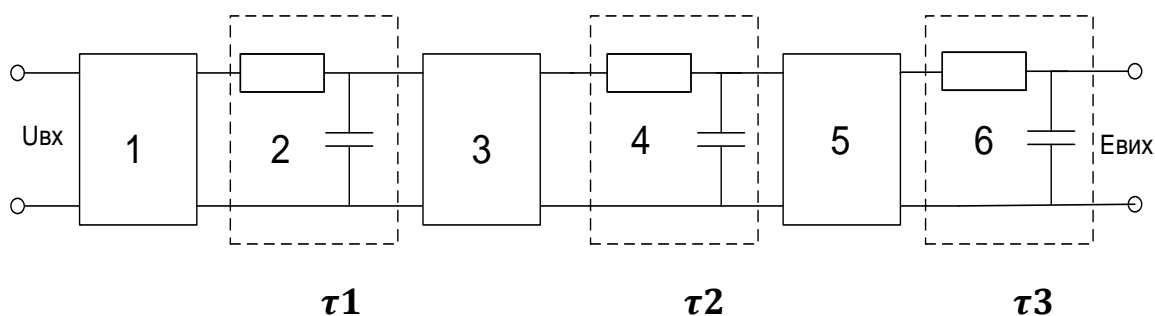


Рисунок 1. Еквівалентна схема термоелектричного перетворювача

1 – квадратор миттєвих значень напруги

2, 4, 6 – еквівалентні сталі часу τ_1, τ_2, τ_3

3,5 – повторювачі напруги

При дії вхідної напруги $U_{\text{вх}}(t) = U_m \sin \omega t$, вихідна напруга квадратора описується формулою $U_{\text{вих}}^2(t) = U_m^2 \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}$

Вихідна напруга має постійну складову $\frac{U_m^2}{2}$ і змінну складову $\frac{U_m^2}{2} \cos 2\omega t$, які проходять через аперіодичні ланки. Таким чином частотна характеристика буде розрахована на частоті другої гармоніки вхідного сигналу.

Значення сталих часу τ можуть бути знайдені шляхом розв'язання нелінійних рівнянь, кількість яких залежить від кількості передбачених в моделі сталих часу.

Якщо модель передбачає одну сталу часу, рівняння має вигляд після відокремлення обчислювальним шляхом постійної складової:

$$\frac{E_a}{U_a^2} = \frac{K_1}{\sqrt{1 + (2\omega\tau_1)^2}}$$

Якщо передбачено в моделі дві сталі часу, рівняння має вигляд:

$$\frac{E_a}{U_a^2} = \frac{K_1}{\sqrt{1 + (2\omega\tau_1)^2}} \cdot \frac{K_2}{\sqrt{1 + (2\omega\tau_2)^2}}$$

Якщо передбачено в моделі три сталі часу, рівняння має вигляд:

$$\frac{E_a}{U_a^2} = \frac{K_1}{\sqrt{1 + (2\omega\tau_1)^2}} \cdot \frac{K_2}{\sqrt{1 + (2\omega\tau_2)^2}} \cdot \frac{K_3}{\sqrt{1 + (2\omega\tau_3)^2}}$$

При збільшенні кількості сталих в моделі, збільшується кількість множників типу

$$\frac{K_i}{\sqrt{1 + (2\omega\tau_i)^2}}$$

Оскільки в реальному термоперетворювачі невідома можлива кількість сталих часу, то запропоновано визначити їх експериментальним шляхом

послідовно збільшуючи кількість аперіодичних ланок збільшуючи одночасно кількість рівнянь в системі.

Критерієм урахування кількості аперіодичних ланок є незмінність в заданих межах найбільших розрахованих сталих часу при збільшенні їх кількості в моделі. Іншими словами, стан загального коефіцієнта перетворення, який практично не залежить від нарощування кількості аперіодичних ланок в моделі.

Фазо-частотна характеристика для декількох аперіодичних ланок має вигляд

$$\varphi_{\Sigma} = - \sum_{i=1}^n \arctg \omega \tau_i$$

При створенні «лінеаризованих» термоелектричних перетворювачів шляхом включення термоелектричного перетворювача в зворотну ланку замкнутої системи допустимий коефіцієнт перетворення прямої та зворотної ланок повинен бути менший одиниці на годографі амплітудно-фазочастотної характеристики при фазовому зсуві 180 градусів.

Для зображення електрорушійної сили термопари та квадрату вхідної напруги в одному масштабі, було додатково використано подільник напруги.

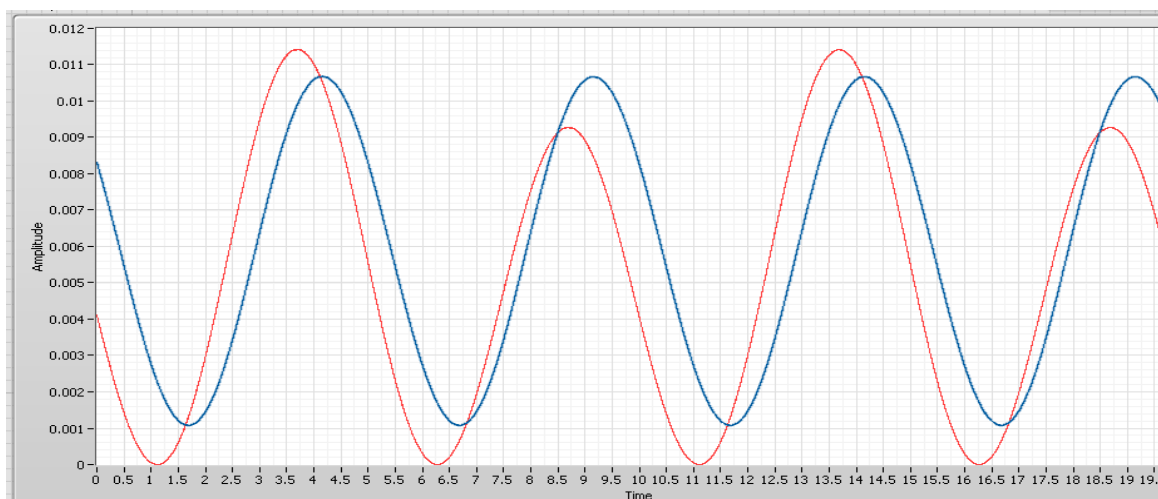


Рис. 2 – Зображення електрорушійної сили та квадрату вхідної напруги в одному масштабі.

Так як відбувається піднесення до квадрату вхідної напруги, яка є синусною, тому згідно з формулою $\sin^2 \omega t = \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}$ ми спостерігає зміщення відносно

нуля (асиметричність через постійну складову). Після прибирання даної постійної складової було отримано такий графік (рис. 3)

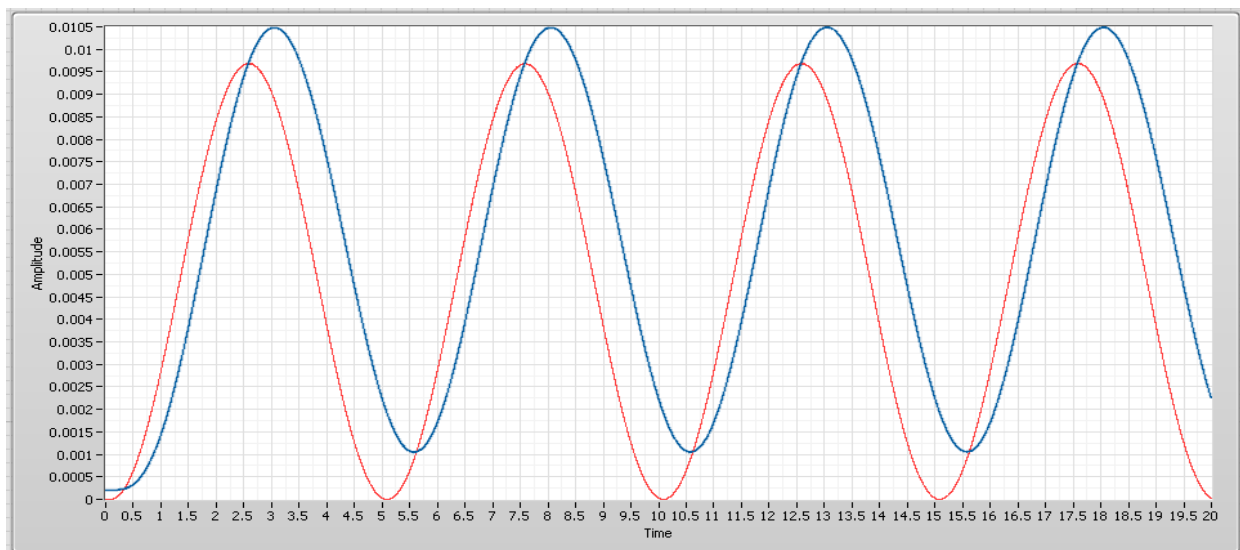


Рис. 3 – Вигляд вхідного сигналу без постійної складової.

Наступні дії спрямовані на отримання амплітудо-частотної характеристики, для цього було прирівняно вхідний та вихідний сигнал на низькій частоті, зроблено їх відношення.

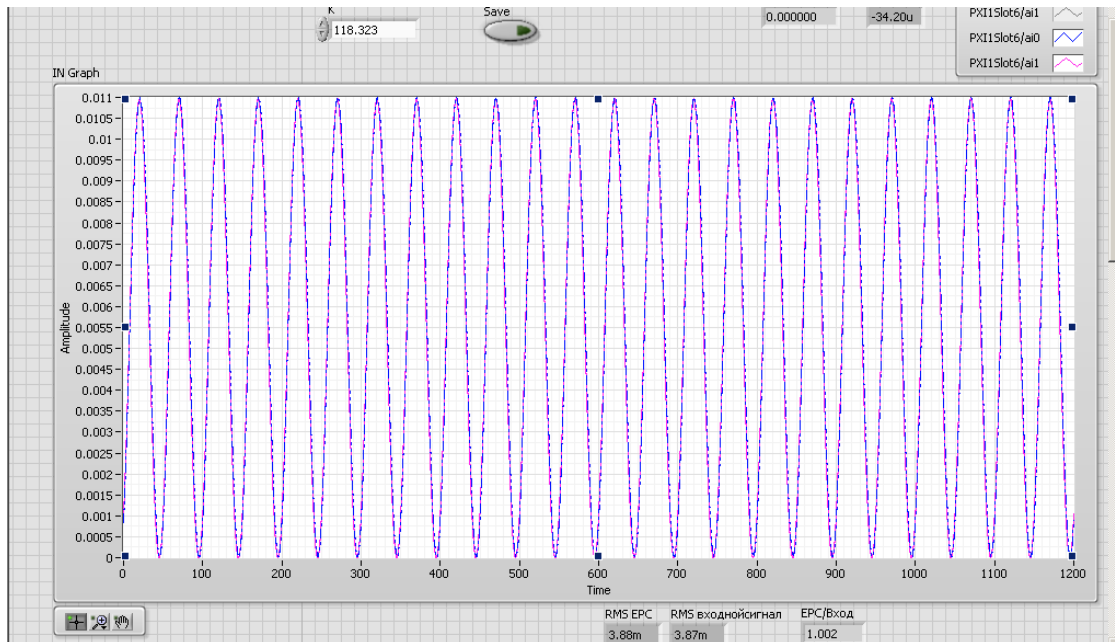


Рисунок 4. – Після нормування з коефіцієнтом 1 вихідного та квадрату вхідного сигналу

При подальшій зміні частоти (збільшенні), відношення ЕРС до вхідного сигналу буде зменшуватись, що можна спостерігати по АЧХ, яка зображена на рисунку (5).

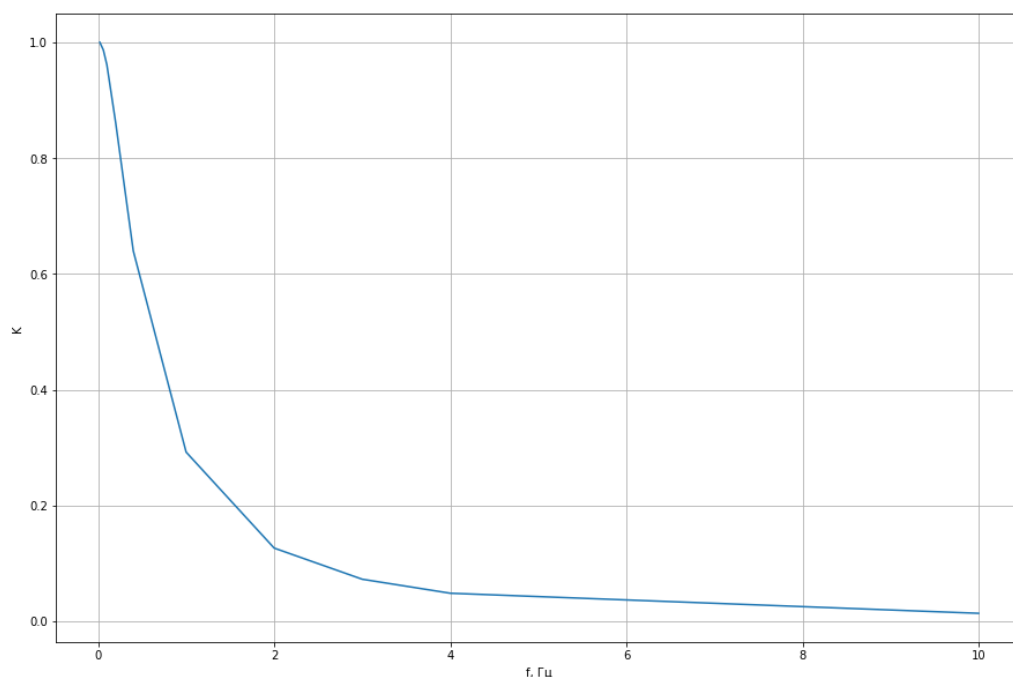


Рисунок 5. – Амплітудо-частотна характеристика для ТВБ-4

Аналогічний принцип отримання АЧХ (рисунок 6, 7) було використано для ДТПТ-6 (Виробництво – Чернівецький інститут термоелектрики), та для термоперетворювача науково-дослідного інституту приладобудування, Нижній Новгород.

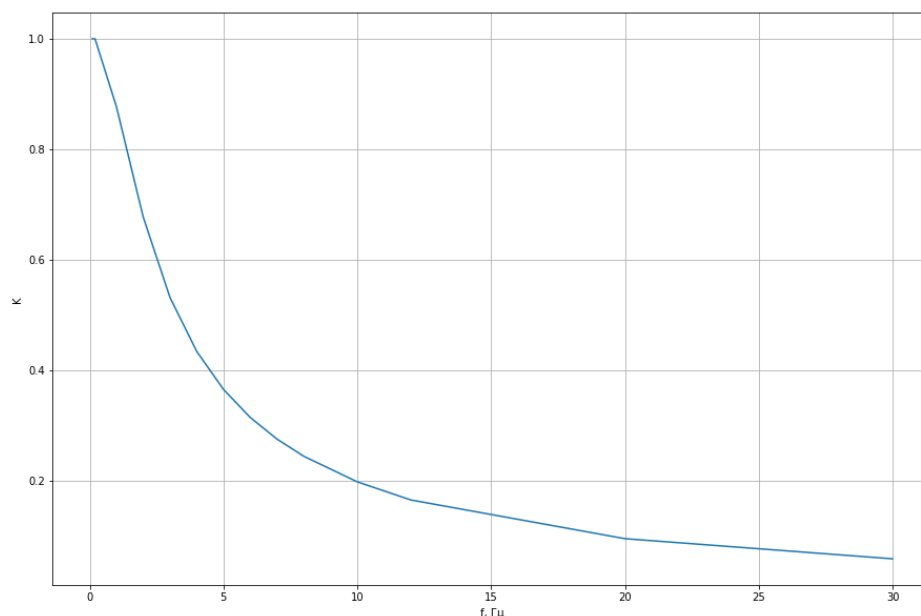


Рисунок 6. – Амплітудо-частотна характеристика для ДТПТ-6

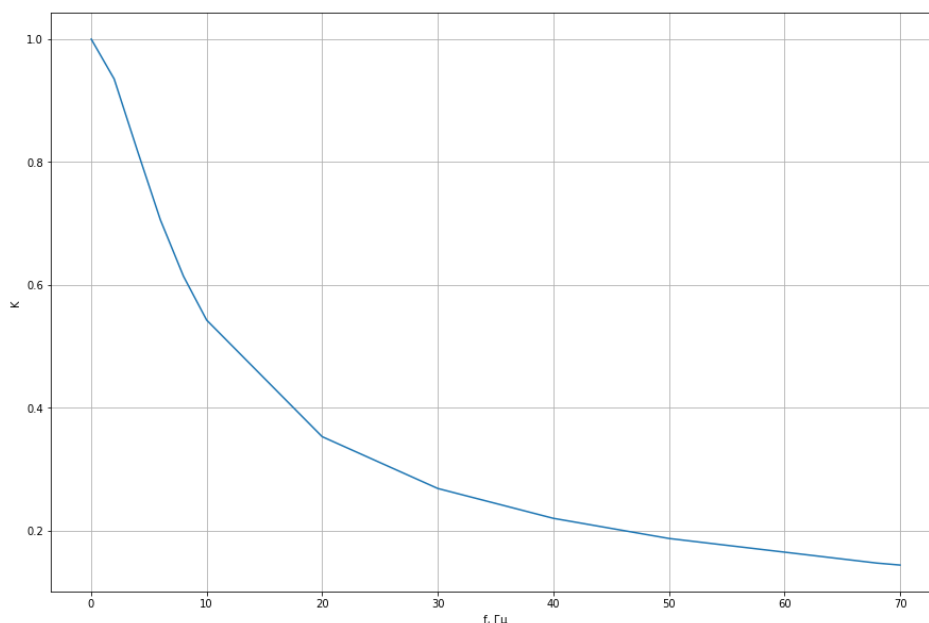


Рисунок 7. – Амплітудо-частотна характеристика для термоперетворювача науково-дослідного інституту приладобудування, Нижній Новгород

Для отримання масиву даних амплітудно-частотних характеристик використовувалась апаратна частина NI PXI та візуальне програмне середовище LabView. Апаратна частина, задіяна в експерименті складається з таких модулів:

NI PXI 1042 – шасі;

PXIe-8106 - професійний комп'ютер;

NI PXI 4461 - модуль збору даних з високою точністю, спеціально розроблений для застосувань звуку та вібрації. Цей модуль включає апаратне та програмне забезпечення, необхідне для проведення точних вимірювань. Має два канали 24-розрядних АЦП та два канали ЦАП.

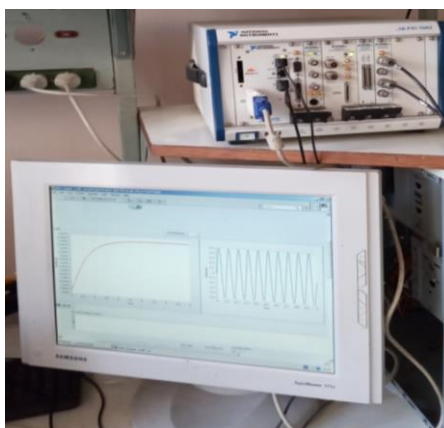


Рисунок 8. Шасі NI-PXI 1042 з підключеними модулями та монітором

напруги та частоти. Також зроблено можливість визначати кількість періодів, які необхідно відобразити, кількість точок на періоді та кількість періодів сигналу, який генерує ЦАП для зберігання в буфері RAM ЦАП.

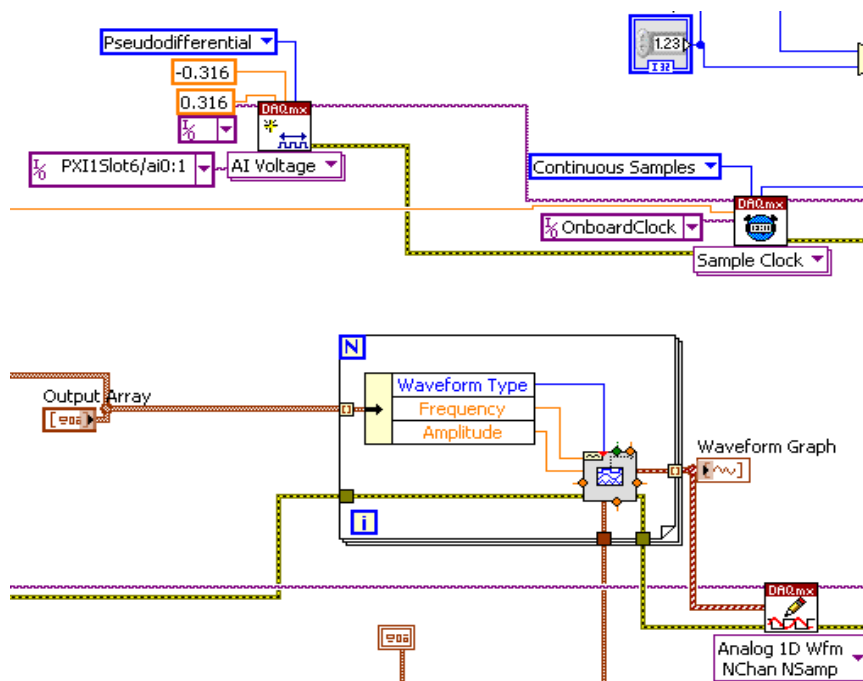


Рисунок 10. – Блок генерації напруги

В даному блоці продемонстровано зроблену затримку для того, щоб програмно пропустити початок формування амплітудо-фазо-частотної характеристики для більш точної подальшої обробки даних.

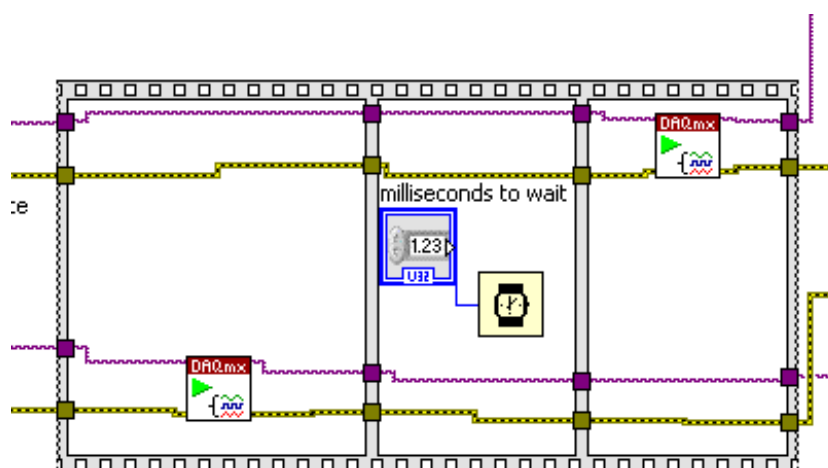


Рисунок 11. – Блок затримки часу вимірювання сигналу

Даний рисунок демонструє розбиття вимірних сигналів (вхідного та вихідного) на два масиви.

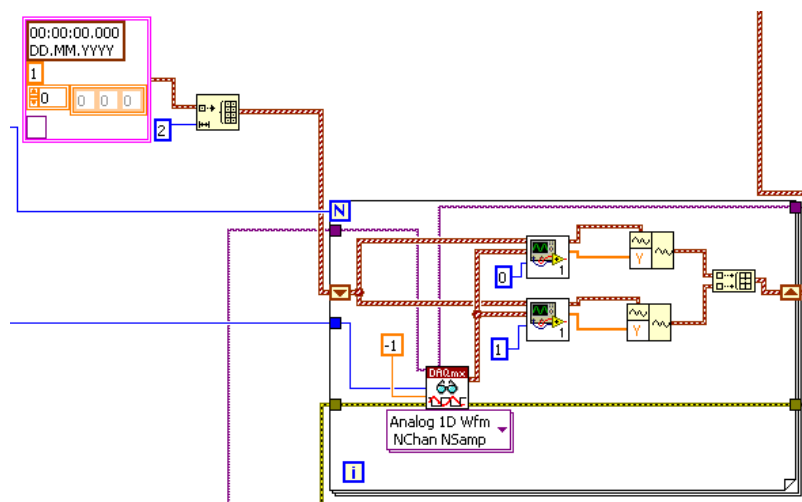


Рисунок 12. – Розбиття вимірних сигналів (ЕРС та вхідний) на два масиви

Даний рисунок (13) демонструє можливість зберігання кінцевих даних (електрорушійної сили та вхідного сигналу) у файл з відповідним форматом.

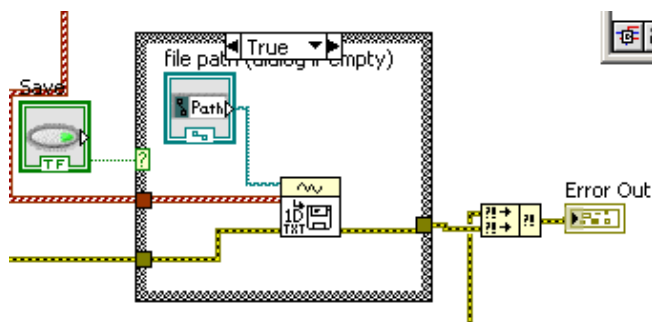


Рисунок 13. – Блок зберігання даних

Останній блок даного програмного забезпечення є основним, тому що в ньому відбувається прибирання постійної складової при піднесенні вхідного сигналу до квадрату та приведення вхідного сигналу до вихідного та подальше отримання АЧХ для створення нелінійних рівнянь та отримання постійних часу.

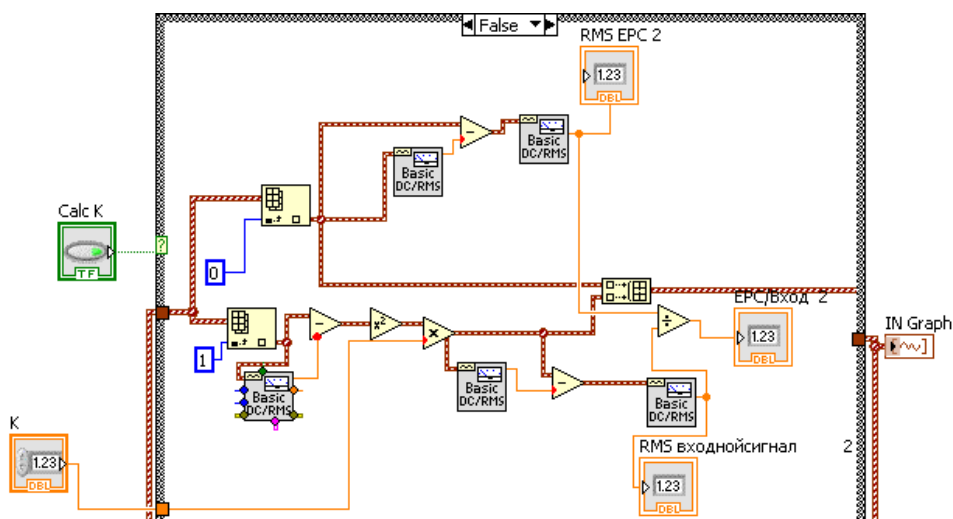


Рисунок 14. – Блок нормування сигналів та подальшого отримання АЧХ

Для перевірки порядку моделі (кількості постійних часу) амплітудно-фазо-частотної характеристики було визначено відношення вихідного сигналу до вхідного, тобто отримання АЧХ. Отримане відношення використовується при розв'язку рівняння з відповідною кількістю невідомих постійних часу, та за допомогою програмного забезпечення Python знайдено цю постійну часу. Приклад програмного коду та розв'язку наведено нижче.

При закладанні однієї постійної часу:

```
def f(t):
    t1 = t
    w1 = 2*0.5*2*np.pi
    return ((1/(np.sqrt(1+(w1*t1)**2)))) - 0.8769
t = fsolve(f, (3))
print (t)
[0.0872408]
```

При закладанні двох постійних часу:

```
def f(t):
    t1,t2 = t
    w1 = 2*0.5*2*np.pi
    w2 = 2*1.5*2*np.pi
    return
(((1/(np.sqrt(1+(w1*t1)**2)))*(1/(np.sqrt(1+(w1*t2)**2))))-0.8769,
((1/(np.sqrt(1+(w2*t1)**2)))*(1/(np.sqrt(1+(w2*t2)**2))))-0.5318)
t = fsolve(f, (0.8, 0.01))
print (t)
[3.83089960e-06 8.50595513e-02]
```

При закладанні трьох постійних часу:

```
def f(t):
```

```

t1,t2,t3 = t
w1 = 2*0.5*2*np.pi
w2 = 2*1.5*2*np.pi
w3 = 2*4*2*np.pi
return
(((1/(np.sqrt(1+(w1*t1)**2)))*(1/(np.sqrt(1+(w1*t2)**2)))*(1/(np.sqrt(1+(w1*t3)**2))))-0.8769,

((1/(np.sqrt(1+(w2*t1)**2)))*(1/(np.sqrt(1+(w2*t2)**2)))*(1/(np.sqrt(1+(w2*t3)**2))))-0.5318,

((1/(np.sqrt(1+(w3*t1)**2)))*(1/(np.sqrt(1+(w3*t2)**2)))*(1/(np.sqrt(1+(w3*t3)**2))))-0.2443)
t = fsolve(f, (0.7, 0.01, 0.2))
print (t)
[7.02651351e-06 8.37237242e-02 1.54685694e-05]

```

Отримані постійні часу при роз'язку рівнянь згруповано в таблицях (1, 2, 3)

Значення сталих часу в моделях з врахуванням однієї, двох і трьох сталих часу відповідно.

Таблиця 1. Постійні часу для ТВБ-4

τ_1 , сек	$\tau_2 \times 10^{-2}$, сек	$\tau_3 \times 10^{-4}$, сек
0,52089		
0,46099	7,9143	
0,46564	7,2344	7,0375

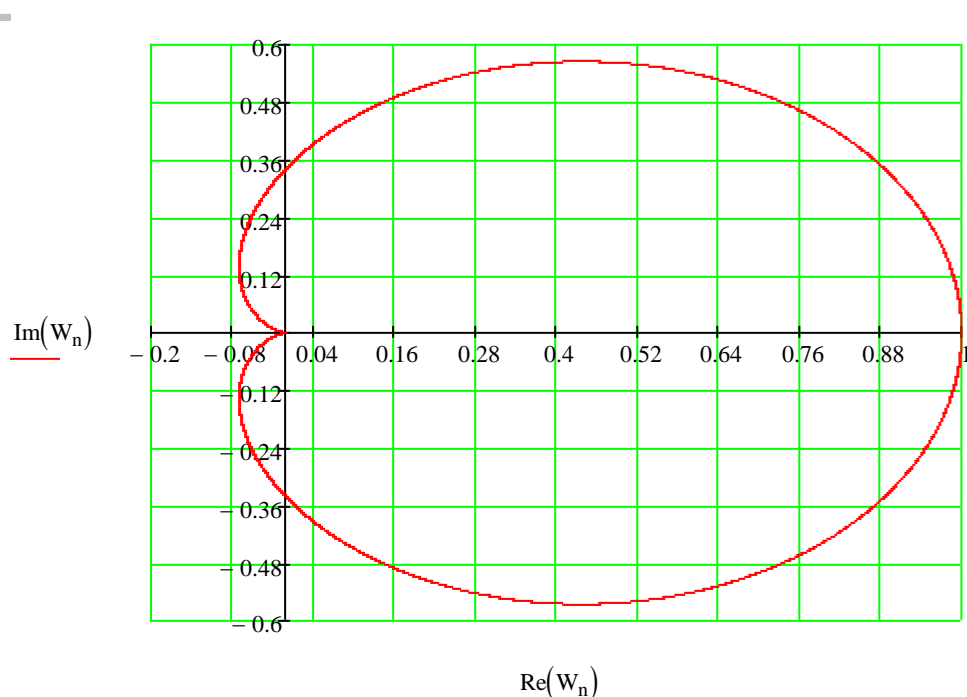


Рисунок 15. - Амплітудно-фазо-частотна характеристика термоперетворювача в полярній системі координат

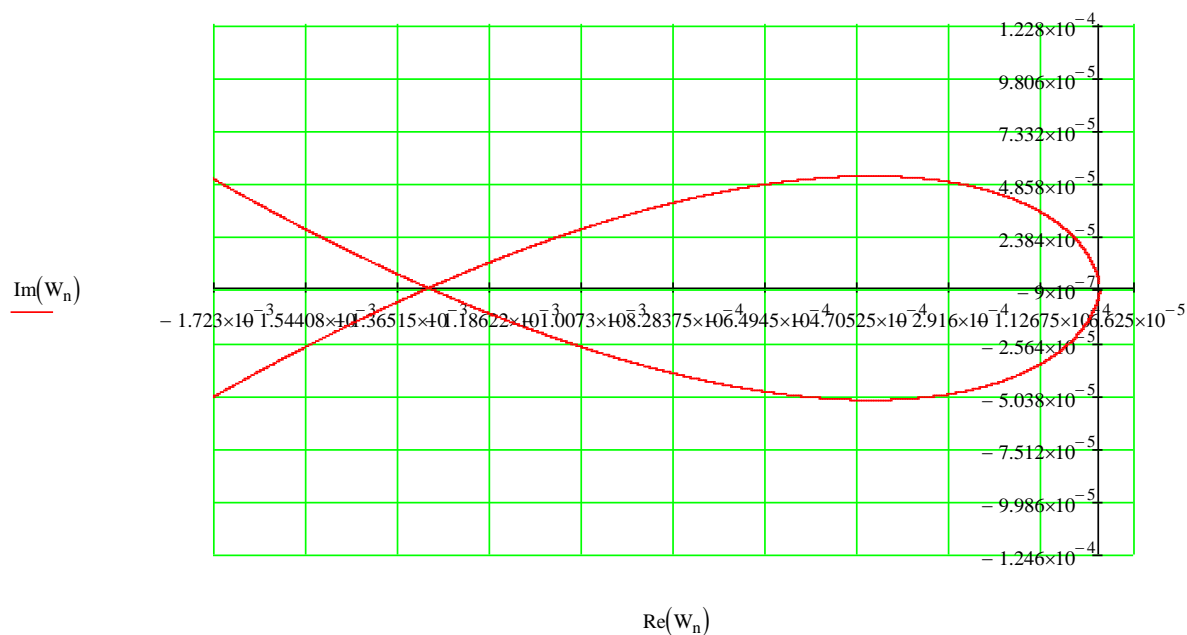


Рисунок 15. – АФЧХ термоперетворювача в районі фазового зсуву 180 градусів

Таблиця 2. Постійні часу для ДТПТ-6.
Виробництво – Чернівецький інститут термоелектрики

$\tau_1 \times 10^{-3}$, сек	$\tau_2 \times 10^{-6}$, сек	$\tau_3 \times 10^{-6}$, сек
87,2408		
85,0595	3,831	
83,7237	15,4686	7,0265

Таблиця 3. Постійні часу для термоперетворювача науково-дослідного
інституту приладобудування, Нижній Новгород

$\tau_1 \times 10^{-3}$, сек	$\tau_2 \times 10^{-6}$, сек	$\tau_3 \times 10^{-6}$, сек
24,63		
20,13	5,7	
20,13	5,7	8,447

Висновок: на основі отриманого масиву даних були розраховані сталі часу з врахуванням однієї, двох та трьох аперіодичних ланок для трьох видів термопар. Чисельні дані наведені в таблицях 1, 2, 3. Амплітудно-фазо-частотна характеристика в полярній системі координат для перетворювача ТВБ-4 наведена на рисунку 15. АФЧХ в районі критичної точки $(j0, 1)$ зображена у збільшеному масштабі на рисунку 16. Значення сталих часу розраховувались на основі нелінійних систем рівнянь:

Для однієї постійної часу:

$$\begin{cases} 0.8769 = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\omega_1\tau_1)^2}} \end{cases}$$

Для двох постійних часу:

$$\begin{cases} 0.8769 = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\omega_1\tau_1)^2}} * \frac{1}{\sqrt{1 + (2\omega_1\tau_2)^2}} \\ 0.5318 = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\omega_2\tau_1)^2}} * \frac{1}{\sqrt{1 + (2\omega_2\tau_2)^2}} \end{cases}$$

Для трьох постійних часу:

$$\begin{cases} 0.8769 = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\omega_1\tau_1)^2}} * \frac{1}{\sqrt{1 + (2\omega_1\tau_1)^2}} * \frac{1}{\sqrt{1 + (2\omega_1\tau_2)^2}} \\ 0.5318 = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\omega_2\tau_1)^2}} * \frac{1}{\sqrt{1 + (2\omega_2\tau_2)^2}} * \frac{1}{\sqrt{1 + (2\omega_2\tau_3)^2}} \\ 0.2443 = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\omega_3\tau_1)^2}} * \frac{1}{\sqrt{1 + (2\omega_3\tau_2)^2}} * \frac{1}{\sqrt{1 + (2\omega_3\tau_3)^2}} \end{cases}$$

та розв'язувались за допомогою Jupyter Notebook — командної оболонки для інтерактивних розрахунків.

Виходячи з отриманих експериментальних даних можна знайти необхідний коефіцієнт підсилення для замкнутої ланки лінеаризованого перетворювача.

Список використаної літератури

1. <https://uk.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>